



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
DOS MATERIAIS

THAÍS CAVALCANTE DE SOUZA

**PRODUÇÃO DE UM COMPÓSITO DE
CELULOSE BACTERIANA COM
MAGNETITA**

Recife
2021

THAÍS CAVALCANTE DE SOUZA

**PRODUÇÃO DE UM COMPÓSITO DE CELULOSE BACTERIANA
COM MAGNETITA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestra em Ciência dos Materiais.

Área de Concentração: Materiais não metálicos

Orientadora Externa: Prof.^a Dr.^a. Leonie Asfora Sarubbo

Orientadora Interna: Prof.^a. Dr.^a. Glória Maria Vinhas

Coorientadora: Prof.^a. Dr.^a. Andréa Fernanda de Santana Costa

Recife
2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Monick Raquel Silvestre da S. Portes, CRB4-1217

S729p Souza, Thaís Cavalcante de
Produção de um compósito de celulose bacteriana com magnetita / Thaís
Cavalcante de Souza. – 2021.
58 f.: il., fig., tab.

Orientadora: Leonie Asfora Sarubbo.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCEN,
Ciência de Materiais, Recife, 2021.
Inclui referências.

1. Materiais não metálicos. 2. Magnetismo. I. Sarubbo, Leonie Asfora
(orientadora). II. Título.

620.19

CDD (23. ed.)

UFPE- CCEN 2021 - 164

THAÍS CAVALCANTE DE SOUZA

**PRODUÇÃO DE UM COMPÓSITO DE CELULOSE BACTERIANA COM
MAGNETITA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciência de Materiais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Ciência de Materiais. Área de Concentração: Materiais não metálicos

Aprovada em: 17/03/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Leonie Asfora Sarubbo (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Raquel Diniz Rufino (Examinadora Externa)
Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação

Prof^o. Dr. Eduardo Padrón Hernández (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho à todos aqueles que chamo de Família, sendo ou não de sangue, que tornam minha vida mais aprazível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida, e pelo mundo maravilhoso, por ele criado, e também a várias pessoas presentes em minha vida:

À minhas orientadoras, a Profa. Dra. Leonie Asfora Sarubbo e a Profa. Dra. Glória Maria Vinhas, e à minha coorientadora, Profa. Dra. Andréa Ferreira de Santana Costa, agradeço a paciência e apoio. A Profa. Leonie Asfora Sarubbo me ensinou o que era a pesquisa, abriu a porta desta grandiosa casa que é a ciência, e assim me chamou para entrar.

Agradeço também aos Profs. Dr. Eduardo Padron e Dr. Albino José, que me ajudaram bastante em várias análises.

Sou grata, à coordenação do programa de Mestrado de Ciência dos Materiais, ao CNPQ, e aos reitores da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), e da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por fazerem com que esta pesquisa fosse possível.

Também sou muito grata à amigos que me ajudaram muito durante minha pesquisa, Lucas Ferreira, técnico do laboratório em que trabalho, sempre me ajudou ao longo destes anos, e ao também técnico Daniel Albuquerque, que me auxiliou muito com os experimentos elétricos. Daniel Azeredo, Ivo e sou muito grata também à Hugo Meira. A profa. dra. Leonie abriu as portas da ciência, e me chamou para entrar e Hugo me puxou pela mão, me arrastou casa à dentro, e me apresentou todos cômodos.

Agradeço à minha mãe Lourdes Félix, meu conforto, exemplo de vida, perfeccionismo, e determinação, ao meu segundo pai, Wladimir Santos, meu exemplo de fé e superação. Aos meus tios, em especial à Franklin Santos, sempre me ajudando com seu positivismo e erudição, Pedro Félix, que tenho como um pai, e à Sueli Cavalcante, que sempre me recebeu em sua casa ao final das aulas. Meus primos, em especial Vitória Félix, Amanda Cavalcante e Ricardo Castro, que tenho como irmãos, e acompanharam toda a minha trajetória. Ao meu namorado Lucas Lima, que sempre acreditou e me apoiou. Aos meus amigos, em especial, Thaís Ostendorf, que tenho como irmã, está por perto em todos os momentos, mesmo fisicamente distante.

Aos que se foram, e fizeram parte da minha história, meus avós, minha madrinha, e meu pai, em especial aos meus avós maternos, Rubenita Souza, e Antônio Félix.

A jornada foi longa e árdua, mas estradas são construídas em cima de buracos, pontes por cima de rios, dragões são derrotados, e no final, como já dizia uma música, “Here comes the sun”, o sol sempre surge, dando fim até mesmo à noites mais longas, e tempestades mais turbulentas.

“Sempre que alguém cria algo com todo seu coração, esta criação recebe uma alma.”
(MIYAZAKI, 2002)

RESUMO

Esta dissertação teve o objetivo de encontrar meios simples e de baixo custo para se obter películas de CB magnética, investigar suas propriedades e direcionar potenciais aplicações. Para a fermentação da CB, foi utilizado um meio de produção alternativo e barato, com um resíduo agroindustrial, e a incorporação da magnetita foi feita de formas distintas. A primeira foi realizada através da imersão da CB em uma solução contendo íons de ferro e, em seguida, em um meio oxidante, promovendo a síntese da magnetita dentro das nanofibras do biopolímero. A segunda forma de produção foi feita com a trituração da CB, formando uma polpa de celulose, seguida da mistura em soluções que sintetizam a magnetita, contendo íons de ferro e uma substância oxidante. Uma terceira metodologia também utilizou polpa de CB com compostos de produção da Fe_3O_4 , mas teve a adição de glicerol. Saliente-se que todas as películas foram secas após suas sínteses. Os compósitos produzidos foram nomeados de acordo com suas formas de obtenção, como CBMI, para as películas que foram imersas; CBMP, para as produzidas com a polpa de CB, e CBMPG, para aquelas que também foram produzidas com a polpa e acrescidas de glicerol. Os compósitos magnéticos foram caracterizados por DRX, TGA, FTIR, ensaios de Propriedades Elétricas, Magnética e de Resistência à Tração Mecânica. O DRX e o FTIR comprovaram a eficiência na incorporação da magnetita na CB, para todas as películas. O TGA apontou uma melhora na resistência térmica das membranas produzidas, sendo a membrana CBMI a com maior resistência térmica. O ensaio magnético demonstrou que as películas apresentam respostas magnéticas, sendo a membrana CBMI a película com uma maior saturação e campo coercitivo. Já a análise elétrica, demonstrou que a membrana CBMPG possui uma maior capacitância e resistividade e o estudo de resistência à tração apontou também a CBMBG como a mais resistente à este tipo de tensão, suportando tensões maiores e sofrendo deformações menores. Com isto, os compósitos de CB magnética possuem potenciais aplicações em dispositivos eletrônicos, como o núcleo de bobinas, eletroímãs, e no caso da CBMI, como material de revestimento térmico. Entretanto, estas películas devem ter um estudo mais aprofundado, para assim se obter características mais específicas para cada tipo de aplicação.

Palavras-chaves: celulose bacteriana; magnetita; novos materiais; biotecnologia; magnetismo.

ABSTRACT

This dissertation aiming to find simple and inexpensive ways to obtain magnetic BC's films, investigate its properties and target potential applications. For the BC's fermentation, an alternative and cheap production medium was used, with an agro industrial residue, and the magnetite's incorporation was made of different forms, one with the immersion of BC in a solution containing iron ions, and in followed by immersion in an oxidizing medium, promoting the synthesis of magnetite within the biopolymer nanofibers. The other way of production was with the crushing of the BC, forming a cellulose's pulp, then the pulp was mixed in solutions that synthesize the magnetite, containing iron ions an oxidizing substance, a third methodology, also used BC pulp with compounds for the Fe_3O_4 production, but this one had the addition of glycerol; all films were dried after their synthesis. The composites produced were named according to their ways of obtaining, CBMI, for the films that were immersed, and CBMP, for those produced with the BC's pulp, and CBMPG, for those that were also produced with the pulp and added with glycerol. Magnetic composites were characterized by XDR, TGA, FTIR, tests of electrical properties, magnetic features and mechanical tensile strength. The XDR and FTIR proved the efficiency in the incorporation of magnetite in the BC, for all films, the TGA pointed an improvement in the thermal resistance of the produced membranes, being the CBMI the one with the highest resistance, the magnetic test showed the films present magnetic responses, the CBMI being the membrane with the highest saturation and coercive field, the electrical analysis showed the CBMPG the film with a higher capacitance and resistivity, and the tensile strength study also pointed to CBMBG as the most resistant to this type of stress, withstanding higher stresses and suffering minor deformations. With this, BC magnetic composites have potential applications in electronic devices, such as the coil core, electromagnets, and in the case of CBMI, as thermal coating material. However, these films must have a more in-depth study, in order to obtain more specific characteristics for each type of application.

Keywords: bacterial cellulose; magnetite; new materials; biotechnology; magnetism.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 | A CELULOSE | 13 |
| 2.2 | CELULOSE BACTERIANA (CB) | 14 |
| 2.3 | APLICAÇÕES DA CELULOSE BACTERIANA..... | 15 |
| 2.4 | MAGNETISMO E MAGNETITA..... | 17 |
| 2.5 | PROPRIEDADES ELÉTRICAS E ELETROMAGNÉTICAS | 20 |
| 2.6 | A CELULOSE BACTERIANA MAGNÉTICA | 24 |
| 3 | METODOLOGIAS | 27 |
| 3.1 | METODOLOGIAS DE PRODUÇÃO..... | 27 |
| 3.1.1 | Manutenção do microrganismo..... | 27 |
| 3.1.2 | Preparação do pré-inoculo..... | 27 |
| 3.2 | METODOLOGIAS DE ANÁLISES | 29 |
| 3.2.1 | Difratometria de Raio-X (DRX)..... | 29 |
| 3.2.2 | Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)..... | 29 |
| 3.2.3 | Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)..... | 29 |
| 3.2.4 | Magnetometria de Amostra Vibrante..... | 29 |
| 3.2.5 | Análise Termogravimétrico (TGA) | 30 |
| 3.2.6 | Caracterização elétrica | 30 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 4.1 | DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)..... | 33 |
| 4.2 | MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)..... | 35 |
| 4.3 | ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)..... | 38 |
| 4.4 | MAGNETOMETRIA DE AMOSTRA VIBRANTE..... | 41 |
| 4.5 | ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)..... | 45 |

| | | |
|----------|------------------------------|-----------|
| 4.6 | CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA..... | 48 |
| 5 | CONCLUSÕES | 51 |
| | REFERÊNCIAS | 52 |

1 INTRODUÇÃO

A biotecnologia está em destaque e ocupando espaço em diversas atividades industriais na atualidade. Pensar em novas soluções e produtos se tornou uma necessidade e uma busca constante da sociedade, que a cada dia se preocupa mais com o meio ambiente e questões relativas à saúde e ao bem estar. Dentro deste contexto, muitos produtos sustentáveis e com grandes potenciais de aplicações vêm sendo desenvolvidos e pesquisados, um deles são os compósitos à base da Celulose Bacteriana (CB).

A celulose é o mais abundante biopolímero do mundo, é um material natural, biotecnológico, amplamente utilizado nas indústrias de diversos setores, e pode ser encontrado na natureza, por fontes renováveis, sendo derivado de vegetais, e produzido através de processos fermentativos de bactérias acéticas (COSTA et al., 2017; SHARMA et al., 2019).

A celulose bacteriana (CB) apresenta alguns aspectos diferentes da celulose vegetal, possui fibras de dimensões nanométricas, sua produção não demanda um grande espaço e não depende de condições climáticas, além de não conter contaminantes, que se fazem presentes na celulose vegetal, como a lignina, pectina etc. O meio de fermentação da CB mais tradicional utilizado é o proposto por Hestrin & Schramm (1954); entretanto, ele possui um custo elevado. Logo, muitas pesquisas estudam a substituição de alguns insumos presentes na sua composição, por resíduos agro-industriais (HESTRIN; SCHRAMM, 1954; AMALRAJ et al., 2018; PORTELA et al., 2019).

Desde o século XIX, há várias pesquisas acerca da CB, e devido ao seu grande potencial e características únicas, muitos pesquisadores continuam investigando novas aplicações e possibilidades para este material, principalmente o utilizando como matriz para compósitos. Atualmente, este tipo de celulose é utilizado na indústria e em pesquisas de diversas áreas, como na obtenção de produtos cosméticos, farmacêuticos, médicos, têxteis, eletrônicos, embalagens e alimentícios, dentre outros (IGUCHI et al., 2000; DONINI et al., 2010; DUARTE et al., 2019).

O magnetismo, é uma característica presente nos materiais, que se dá pela forma na qual os elétrons que constituem um certo composto se movimentam. Componentes magnéticos estão presentes em diversos itens, como em dispositivos armazenamento de informações, ímãs permanentes, transformadores, motores dentre outros. Há vários tipos

de magnetismos, e materiais magnéticos, que podem ser utilizados para várias finalidades, à depender de suas características, como os materiais magneticamente moles, utilizados na construção de discos rígidos de computador, e magneticamente duros, usados para a confecção de ímãs permanentes (SHACKELFORD, 2008; CALLISTER; RETHWISCH, 2012; RAHHAL et al., 2019).

Na literatura existem trabalhos que exploram e estudam a criação de compósitos com propriedades magnéticas, de matrizes poliméricas, dentre elas, a CB. Estes estudos apontam várias aplicações para estes novos compósitos; entretanto ainda há alguns desafios comuns presentes neles: o alto custo das metodologias de produção e sínteses complexas (SOUTRY et al., 1997; OLSSON et al., 2010; ZHU et al., 2011; ZENG et al., 2014; SRIPLAI et al., 2018; SÁBIO et al., 2019; CHANTHIWONG et al., 2020; GU et al., 2020; USAWATTANAKUL et al., 2021).

Tendo em vista este cenário, esta pesquisa teve como objetivo produzir e investigar um compósito, constituído por uma matriz de Celulose Bacteriana (CB) e partículas de magnetita, criando assim um material novo, biotecnológico e magnético, bem como analisar este produto e indicar seus potenciais aplicações.

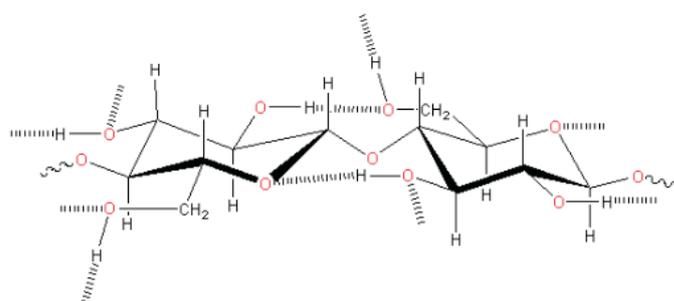
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresenta uma revisão teórica sobre o tema abordado neste trabalho, para assim haver uma melhor compreensão da natureza do biocompósito produzido, bem como de suas características.

2.1 A CELULOSE

A celulose é um dos polímeros mais utilizados no mundo e pode ser encontrado facilmente na natureza, dentre os biopolímeros, é o mais abundante. De forma geral a celulose possui composição polimérica, cujo monômero é $(C_6H_{10}O_5)_n$, carboidrato formado por uma cadeia linear, não ramificada e composta por unidades β -D-glicopiranosose unidas por ligações glicosídicas, que interagem entre si através de pontes de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares, conforme apresentado na Figura 1. O biopolímero é o principal constituinte da parede celular de plantas, apresenta uma rigidez proveniente das microfibrilas, moléculas longas formadas através das ligações de hidrogênio, formando por fim fibras retas, estáveis e resistentes. Há também certas impurezas na celulose vegetal, como a lignina, pectina e hemicelulose, que são retiradas durante o processo industrial de extração, o que encarece um pouco a sua produção em larga escala (KAMIDDE; SAITO, 1987; DELMER; AMOR, 1995; LYND et al., 2002; SHARMA et al., 2019).

Figura 1 - Estrutura molecular da celulose



Fonte: (DONINI et al, 2010)

Segundo dados do Ibá (Indústria Brasileira de Árvores), no ano de 2019 a produção brasileira de celulose foi de 19,6 milhões de toneladas, e 14, 7 milhões de toneladas exportada, e em 2020, de janeiro à setembro, foram 15,6 milhões de toneladas

de celulose produzidas, e 11,5 milhões de toneladas exportadas, neste cenário o Brasil é o segundo maior exportador de celulose no mundo (IBA, 2020).

As principais fontes exploradas deste polímero são o algodão e a madeira, mas também pode-se obter celulose através de algas marinhas, e fermentações de certos fungos e bactérias. Materiais derivados também são utilizados na indústria, como a Carboximetilcelulose (CMC), Acetato de Celulose, Hidroxipropilcelulose (HPC), Etilcelulose etc. Os principais destinos da celulose, e/ou seus derivados, vão para a indústria de papel, têxtil, filtros, fibras, construção etc. Como as fontes de celulose mais utilizadas são de origem vegetal, há uma grande discussão sobre a questão ambiental dentro deste segmento, estimulando assim a busca por outras fontes (BARUD, 2006; SIRÓ; PLACKETT, 2010; YANG; LI, 2017; AMALRAJ et al., 2018).

Outra fonte de celulose que está sendo produzida e vem sendo otimizada, em várias pesquisas, e tem se mostrado bastante promissora, é a celulose bacteriana (CB), oriunda dos processos fermentativos pela ação das bactérias acéticas, e devido à suas características únicas, este tipo de celulose vem sendo estudada para várias aplicações (NAKAMURA; ONO, 2006; DONINI et al., 2010; MOON et al., 2011; ESA et al., 2014; COSTA, 2018; WANG et al., 2019; FERNANDES et al., 2020).

2.2 CELULOSE BACTERIANA (CB)

O primeiro relato da celulose bacteriana (CB) é de Brown, 1886, onde ele relatou a formação de uma película gelatinosa no caldo de fermentação de bactérias acéticas. A CB tem então sido perscrutada de diversas formas, para aplicações em diferentes áreas, por seus atributos singulares frente a outros materiais. A razão pela qual as bactérias produzem CB ainda não está clara, alguns estudos indicam que é um mecanismo de defesa das bactérias produtoras contra raios UV e contaminantes externos, outros estudos ponderam que elas formam películas para auxiliar as bactérias a se manterem próximas à superfície pela maior demanda de oxigênio. Outro ponto interessante é que a produção da CB é realizada em camadas, ao longo do tempo as bactérias vão produzindo mais camadas, tornando assim as películas mais espessas e com um número maior de fibras empilhadas (IGUCHI et al. 2000; DONINI et al., 2010; COSTA, 2018).

De forma geral, as bactérias que têm a capacidade de produzir CB são de diversos gêneros, como *Sarcina*, *Agrobacterium* e *Acetobacter*, e a maioria dos meios de produção descritos na literatura possuem fontes de Carbono, de Nitrogênio, e alguns sais, o mais

tradicional é o meio Hestrin, elaborado por Hestrin & Schramm (1954), que é um meio de cultura de alto custo. Correntemente, a CB é produzida em meio estático; entretanto, há também metodologias que produzem o polímero sob agitação (HESTRIN; SCHRAMM, 1954; ESA et al., 2014; WANG et al., 2019).

A fim de se baratear custos de produção, uma vez que os componentes do meio Hestrin são dispendiosos, é comum encontrar trabalhos na literatura onde os autores suplementam meios de fermentação com resíduos agro-industriais, complementando as fontes de carbono e/ou nitrogênio necessárias para o crescimento das mesmas, e reduzindo e/ou eliminando compostos de alto custos, tradicionalmente utilizados na elaboração. Outra vantagem da utilização destes resíduos é o fator ecológico, uma vez que há a reutilização de materiais que seriam descartados no ambiente. Alguns dos resíduos mais recorrentes são a milhocina, melão de cana-de-açúcar, resíduos de aveia, cascas e extratos de frutas e vegetais e resíduos de glicerina, dentre outros. A fermentação de CB com resíduos, além de ser recorrente, se mostra bastante promissora, principalmente para a produção em larga escala (ESA et al., 2014; COSTA et al., 2017; HUSSAIN et al., 2019; FERNANDES et al., 2020).

Em comparação com celuloses de origem vegetal (CV), apesar de ambas serem o mesmo polímero, as condições nas quais ambas são produzidas conferem algumas características distintas. O tamanho de espessura das fibras de CB é de ordem nanométrica, enquanto a de celulose vegetal é micrométrica; esta singularidade permite com que a CB seja um bom material para a construção de *scaffolds*, suportes onde as células podem ser cultivadas com o propósito de construir um tecido *in vitro*. A cristalinidade, elasticidade, estabilidade térmica e absorção de água, são outros atributos que diferem a CB e a CV. Outra vantagem é a forma de produção, a obtenção de CB independe de fatores climáticos e regionais, e demanda espaço, custos e tempo menores para a sua obtenção (MOON et al., 2011; DUARTE et al., 2019; PORTELA et al., 2019).

2.3 APLICAÇÕES DA CELULOSE BACTERIANA

Devido às características apresentadas anteriormente, a CB possui uma grande capacidade de absorver compostos, que podem promover mudanças significativas, ou não, em suas propriedades, possibilitando assim a criação de novos materiais e produtos, com diversas aplicações. Pode-se encontrar a CB aplicada em áreas como, medicina,

estética, vestuário, alimentos, dentre outras (BARUD, 2006; ESA et al., 2014; ULLAH et al., 2016).

Na área alimentícia, um dos produtos mais comuns, que já é comercializado, é a nata-de-coco, uma sobremesa muito consumida na Ásia. Para este produto, a CB é fermentada a partir de um meio de cultura contendo água de coco, e tem aspecto de uma gelatina. A CB também é utilizada na elaboração de carnes artificiais, estabilizante de emulsões (produção de queijos e sorvetes), na substituição de ingredientes gordurosos (produção industrial de Tortas, Kani, bolos e bolinhos de carne), na imobilização de enzimas e probióticos, para serem adicionados em alimentos. A CB também é utilizada na formação de películas comestíveis, que protegem alimentos, como frutas, prolongando seu tempo de vida (OKIYAMA et al., 1993; SHI et al., 2014; AZEREDO et al., 2019).

No setor de farmácia, medicina e estética, a CB é utilizada para diversos tipos de produtos. Sua estrutura nanométrica permite o confinamento de medicamentos e outros compostos dentro de películas, bem como uma liberação lenta, destes componentes, no local aplicado, ademais por este material ser biocompatível, não causa danos ao organismo. Um destes produtos é a biopele, uma película curativa com medicamentos suportados, utilizada para tratar queimaduras, uma de suas qualidades é a proteção da área danificada, a CB consegue impedir a passagem de líquidos, mas não impede a passagem de ar, otimizando a recuperação da queimadura, e evitando a desconfortável troca de curativos no paciente. No setor de cosméticos, se destaca a elaboração de máscaras com aditivos capazes de clarear manchas e hidratar a pele. Há também várias pesquisas que exploram a CB como matriz para crescimento de tecido *scaffolds*, em engenharia de tecidos, e para a aplicação de marcadores e sistemas de drug delivery, na área de pesquisas médicas (WEYELL et al., 2018; AMORIM et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019; PORTELA et al., 2019; AHMED; GULTEKINOGLU; EDIRISINGHE, 2020).

Outras pesquisas envolvem o uso de CB como meio filtrante, capazes de separar emulsões. Uma das aplicações mais comuns na literatura destes filtros é no tratamento de águas e efluentes. As fibras de CB possuem uma superfície de poros nanométricos, conseguindo assim impedir a passagem de gotículas de óleo em emulsões e micro-organismos, que possuem magnitudes micrométricas (SHIBAZAKI et al., 1993; HASSAN et al., 2017; GALDINO et al., 2019).

Estudos também visam a utilização da CB em embalagens e películas plásticas sustentáveis, devido à sua natureza biodegradável. Vários autores utilizam metodologias de blendagem da CB com outros polímeros e plastificantes. Os agentes plastificantes mais

utilizados nestes compósitos são Polihidroxicanoato (PHA), Polihidroxibutirato (PHB), Acetato de Polivinila (PVA), dentre outros polímeros. Nas blendas destinadas à embalagens há também a incorporação de substâncias indicadoras ou com propriedades que visam a prolongação do tempo de prateleira dos produtos, no caso de alimentos, como indicadores de pH e amônia, para evidenciar o frescor dos produtos, evitando, desta forma, a compra de produtos estragados. Agentes antimicrobianos e antioxidantes, também podem ser adicionados nos compósitos, como, por exemplo, o óleo de cravo, criando embalagens de CB que conservam alimentos perecíveis (GEA, et al., 2010; POURJAVAHER et al., 2016; ALBUQUERQUE et al., 2020; HAGHIGHI et al., 2020).

Na área de design de moda, há várias pesquisas visando a utilização da CB para a confecção de peças. Na conferência *Wearable Futures*, de 2014, a designer Suzanne Lee apresentou roupas feitas com biopolímero. Devido à capacidade de remodelação da celulose bacteriana, as vestimentas podem ser confeccionadas a partir da montagem em manequins, ou com a fermentação dentro de moldes, para que a película cresça no formato da peça desejada. Outra técnica utilizada neste ramo é a adição de componentes alternativos no meio de cultivo como: vinho, extrato de frutas, cerveja e chás, a fim de se baratear custos de produção e dar cores diferentes às películas (ANDREOTTI, 2015; NG e WANG, 2016; COSTA et al., 2019).

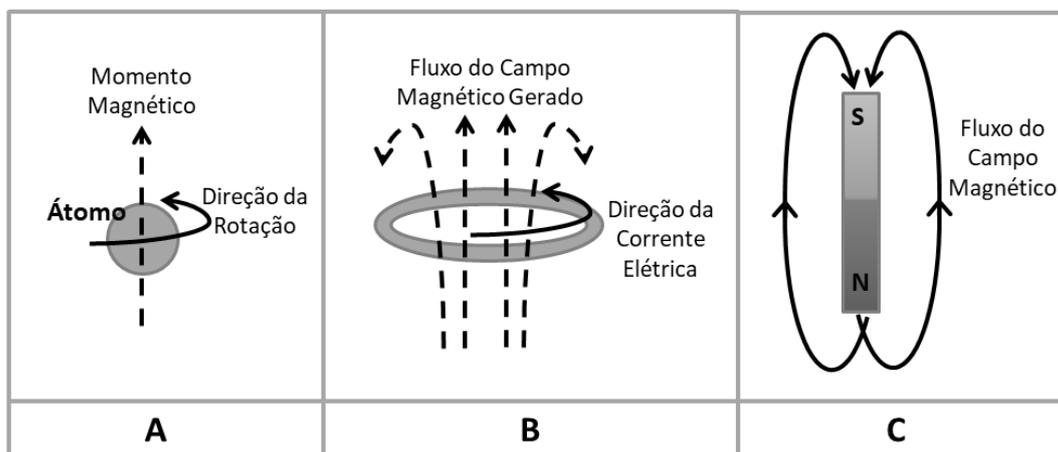
Na área de eletroeletrônicos, existem estudos promissores onde a CB é utilizada como matriz para compósitos com diversos materiais, como nanotubos de carbono, polímeros condutores, materiais magnéticos e metálicos, dentre outros. As aplicações destes compósitos são diversas, eles são vistos como materiais para a construção de muitos dispositivos, dependendo de suas características condutoras, isolantes, dielétricas etc. Tais dispositivos, inclusive, são utilizados para as pesquisas e o desenvolvimento de todas as outras áreas citadas anteriormente. Logo a melhoria da tecnologia em equipamentos eletroeletrônicos permitirá inúmeros avanços em diversos segmentos (EVANS et al., 2006; NAKAMURA; ONO, 2006; YOON et al., 2006; CHEN et al., 2009; YANO et al., 2014; TORRES et al., 2019).

2.4 MAGNETISMO E MAGNETITA

O Magnetismo é uma característica específica presente em todos os materiais, que se dá pela interação de seus elétrons com um campo magnético, causando assim propriedades de atração e/ou repulsão sobre outros materiais. Este fenômeno está ligado

à propriedades intrínsecas dos elétrons de terem um momento angular de seus spins. A forma no qual os elétrons se movimentam, chamado também de momento magnético, gera um campo de força, que pode ser representado por linhas imaginárias de fluxo, que possuem uma certa direção e intensidade, como demonstrado na Figura 2A e 2B. As linhas se direcionam de maneira tal que descrevam um fluxo que vai de norte à sul magnético, como ilustrado na Figura 2C. Há materiais que se magnetizam a partir da aplicação de um campo externo, e materiais que possuem a capacidade de criar campos de forma intrínseca (SHACKELFORD, 2008; CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

Figura 2 - Representação da força de campos magnéticos, através de linhas. Em A, O momento magnético gerado pela rotação de um elétron. Em B, o Campo magnético é gerado através de uma corrente elétrica que passa pelo material, de forma espiral. Em C, um material magnético que não precisa de uma corrente elétrica para criar um campo, com as representações do Norte e Sul magnéticos.



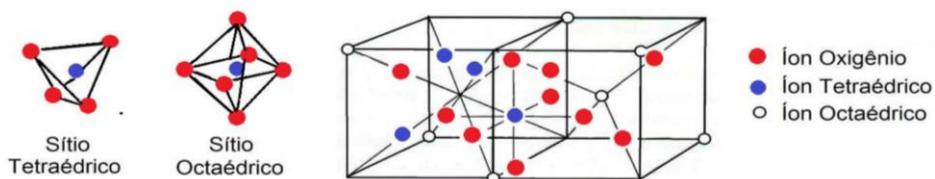
Fonte: Elaborada pela autora

Os materiais podem se comportar de formas diferentes quando submetidos à um campo magnético externo. Em resposta à este campo, os spins eletrônicos em seus átomos se alinham de diversas formas específicas. De acordo com estas respostas ao campo submetido, os materiais podem ser classificados em ferromagnéticos, paramagnéticos, diamagnéticos, ferrimagnéticos e antiferromagnéticos. Outra classificação destes materiais, são os magneticamente moles e duros, os moles, também chamados de doces, tem a habilidade de serem magnetizados e desmagnetizados rapidamente, o que os tornam ideais na fabricação de dispositivos de memória, enquanto que os magneticamente duros têm dificuldades de desmagnetizar; por isso, materiais deste tipo são utilizados na obtenção de ímãs permanentes. Propriedades magnéticas muitas vezes estão associadas à propriedades elétricas, um efeito que será explicado posteriormente; por isto, muitos

dispositivos eletroeletrônicos fazem o uso de materiais magnéticos, como capacitores, motores e transformadores (SHACKELFORD, 2008; CALLISTER; RETHWISCH, 2012; MATSUKURA et al., 2015; RAHHAL et al., 2019).

A magnetita (Fe_3O_4) é um minério de ferro, que pode ser encontrado em rochas ígneas e metamórficas, bem como em meteoritos, na areia de algumas praias e em organismos vivos, como algumas bactérias e no sistema nervoso de alguns animais. Sua estrutura cristalina apresenta um espinélio inverso, formando uma rede cúbica de face centrada. A cela unitária é formada por um grupo de quatro unidades, com sítios tetraédricos A e octaédricos B, como ilustrado na Figura 3. Os sítios A são ocupados por íons Fe^{3+} , e seus momentos estão acoplados de forma antiferromagnética, enquanto que nos sítios B, se fazem presentes os íons Fe^{2+} e Fe^{3+} , o momento magnético deste, está acoplado de forma ferromagnética. A magnetita é um isolante elétrico, e em algumas temperaturas, se torna um semicondutor, ela também pode ser sintetizada em laboratório, por diversas vias, dentre elas, por métodos de precipitação, síntese hidrotermal, pirólise, dentre outras. A sua aplicação está presente em diversas áreas, como em sistemas de *Drug delivery*, engenharia de tecidos, tintas magnéticas, sistemas de catálise, separadores de metais em tratamentos de águas, dispositivos de gravação magnética, dispositivos eletroeletrônicos, etc. (FLEET, 1981; DUNLOP; ÖZDEMIR, 1997; BLANEY, 2007; COSTA, 2013; UNSOY et al, 2015).

Figura 3 - Estrutura da Magnetita, destacando os íons de ferro em seus sítios Tetraédricos A, e Octaédricos B



Fonte: (COSTA, 2013)

Na literatura, há trabalhos que visam criar, expandir e aprimorar materiais magnéticos, para diversas aplicações, muitos autores elaboram compósitos contendo partículas magnéticas, em matrizes poliméricas. Em alguns deles, as matrizes utilizadas são feitas de celulose vegetal e bacteriana.

2.5 PROPRIEDADES ELÉTRICAS E ELETROMAGNÉTICAS

A eletricidade está presente de forma direta, ou indireta, em todas as áreas e atividades realizadas atualmente. Segundo definições mais gerais, a eletricidade é um fenômeno natural que envolvem cargas estacionárias ou em movimento, onde os átomos respondem à estímulos externos na forma de condução de energia. Na história a eletricidade e o magnetismo eram muitas vezes confundidos e misturados pelos cientistas, na Grécia antiga, estudiosos como Thales de Mileto, já notaram que ao esfregar um pedaço de lã em um minério de âmbar, a pedra conseguia atrair pedaços de palha, este foi o primeiro relato de eletrificação de um material, por volta de 1600, William Gilbert, criou a palavra “Eletricidade”, que deriva de “*elektron*”, que significa âmbar, em grego (OKA, 2000; TONIDAEL; ARAÚJO; BOAVENTURA, 2018).

Muitos outros estudos foram desenvolvidos ao longo dos séculos, em meados do século XVII, o físico Charles Augustin de Coulomb definiu o conceito de cargas elétricas, que são propriedades de interações elétricas, como a atração e repulsão. As cargas elétricas estão presentes em todos os materiais, até mesmo no corpo humano. Ao despir um suéter, por exemplo, o atrito do tecido com o corpo promove o acúmulo das cargas presentes na pele e no suéter, e ao desfazer este contato a energia gerada pelo atrito é descarregada, provocando assim pequenas centelhas, ou o arrepio dos pelos. Coulomb ainda definiu que haveriam dois tipos de carga, o cientista Benjamim Franklin complementou esta definição, as cargas seriam positivas e negativas, que podem ser observadas com o fluxo no qual a energia percorre, foi observado também que ao aproximar objetos com cargas semelhantes, eles se repelem, e com cargas opostas, os mesmos se atraem (OKA, 2000; HUMMEL, 2011; ERENOĞLU; ERDİNÇ; TAŞCIKARAOĞLU, 2019).

Outro conceito importante de eletricidade, observado no século XVIII, por Stephen Gray, foi a condutividade elétrica, a capacidade de um material permitir o fluxo de cargas elétricas, neste conceito, as cargas são os elétrons. Dentro desse contexto, materiais que possuem essa propriedade de condução elétrica, são chamados de condutores, como os metais e soluções iônicas. Outra propriedade associada à condutividade é a resistividade, mas de maneira contrária, essa característica expressa a capacidade de um material impedir o fluxo de elétrons, materiais que possuem um valor alto de resistividade, e baixo valores de condutividade são chamados de isolantes

elétricos, como a madeira, vidro e boa parte das cerâmicas e polímeros (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009; ERENOĞLU; ERDİNÇ; TAŞCIKARAOĞLU, 2019).

A condutividade de um material é medida em Siemens (S), de forma geral, esta unidade compreende a densidade de elétrons livres dentro do material, e pode ser mensurada por aparelhos. A resistividade é medida em Ohm x metro (Ωm), que mede a resistência, expressa em Ohm (Ω), oposição, à passagem de elétrons por um corpo, ao longo de seu comprimento. A resistência de um material pode ser medida por equipamentos, enquanto que a resistividade pode ser calculada pela adaptação da Equação 1 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad \text{Equação 1}$$

Onde R é a resistência, em Ω (ohm), ρ é a resistividade, em Ωm , L é o comprimento do material, em metro (m), e A é a área da superficial (m^2) do corpo avaliado. Ajustando a Equação 1, a resistividade pode ser obtida de forma direta, conforme a Equação 2.

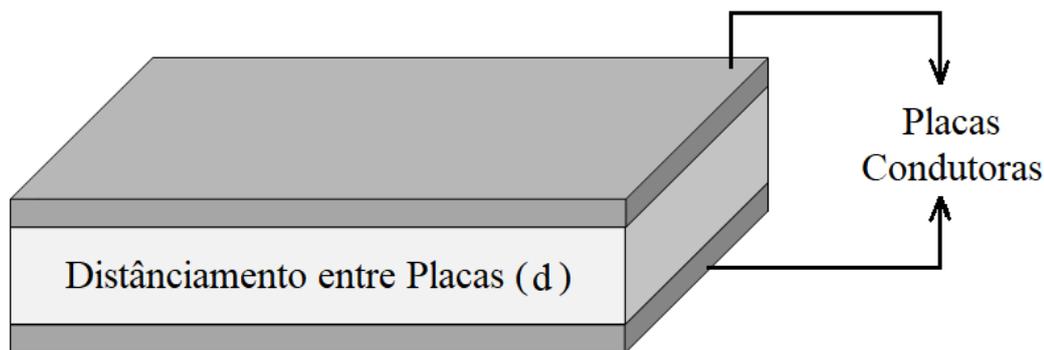
$$\rho = R \cdot \frac{A}{L} \quad \text{Equação 2}$$

Outras propriedades que foram exploradas e estudadas foram as relacionadas ao armazenamento de energia, em 1746 há relatos de um primeiro capacitor, produzido com garrafas, por Pieter van Musschenbroek, que era capaz de armazenar energia através de uma garrafa com água e uma haste metálica, este dispositivo ficou conhecido como “Garrafa de Leyden”. Há também o registro de primeiras pilhas, feitas por Alessandro Volta em 1800. Ele fez baterias ao empilhar discos de cobre e zinco, separados por pedaços de tecidos embebidos em ácido sulfúrico, a interação química entre estes elementos era capaz de gerar energia elétrica. Aparelhos que produzem eletricidade através de reações químicas passaram à ser chamados de “celas voltaicas”, em homenagem à este cientista (VOLTA, 1800; ERENOĞLU; ERDİNÇ; TAŞCIKARAOĞLU, 2019; VICENTE; PINTO; SILVA, 2020).

A habilidade de um corpo reter energia elétrica é chamada de capacitância, ela é medida pela unidade Farad (F), que compreende a carga de energia armazenada, e o tempo deste armazenamento. Outra grandeza referente à retenção de energia é a constante

dielétrica, uma propriedade intrínseca de cada material, que está associada à sua resistência. Para se compreender melhor estas grandezas, deve-se levar em conta as partes de um capacitor comum, conforme representado pela Figura 4 (HAO, 2013).

Figura 4 - Representação de uma camada de capacitor Comum.



Fonte: Elaborada pela autora

Em um capacitor usual a corrente elétrica chega a uma das placas condutoras e a energia presente nesta corrente tenta fluir até a outra placa; entretanto, ela precisa atravessar o espaçamento entre estas superfícies. Este mecanismo resulta no confinamento de energia entre as placas; geralmente, neste espaçamento, é inserido um material com a constante dielétrica alta, que irá aumentar o tempo de migração da corrente elétrica entre as extremidades. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2009), a capacitância pode ser obtida através de aparelhos, e também pela Equação 3:

$$C = k\varepsilon_0 \cdot \left(\frac{A}{d}\right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde, C é a Capacitância, em F (Farad), ε é a Constante Dielétrica do vácuo, $8,854 \times 10^{-12}$ F/m, A, é a área superficial das placas condutoras (m^2), d é a distância entre essas placas (m) e k é a constante dielétrica do material presente entre as placas condutoras (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009; HAO, 2013).

A constante dielétrica pode ser obtida como a transformação da Equação 3, obtendo-se assim a Equação 4:

$$k = \frac{C}{\varepsilon_0} \cdot \frac{d}{A} \quad \text{Equação 4}$$

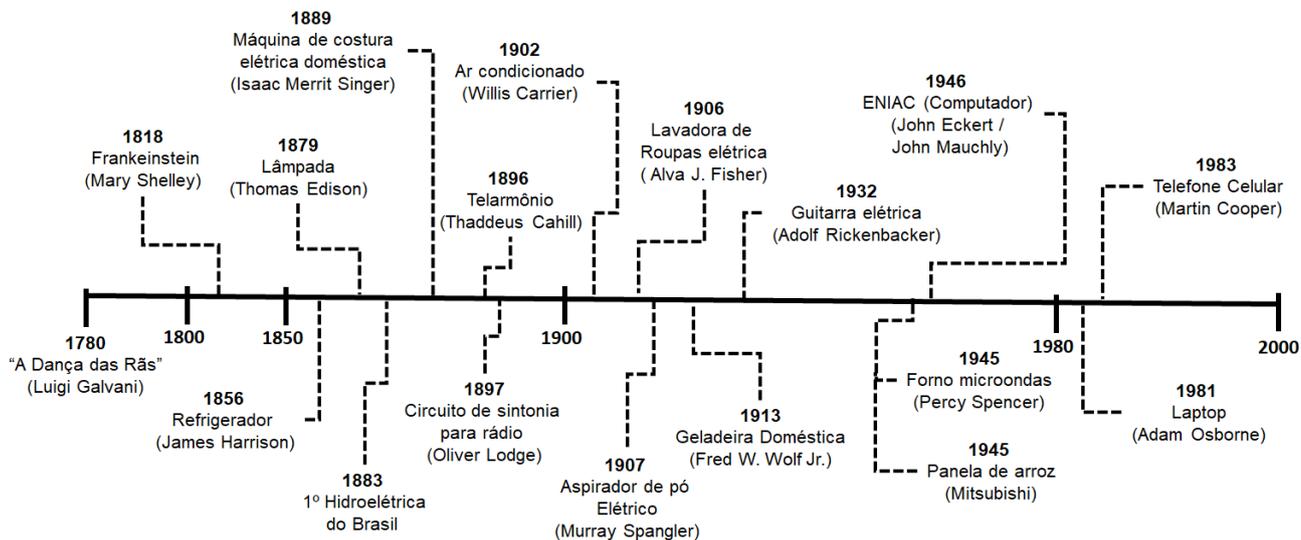
Em 1820, o pesquisador Hans Oersted conseguiu encontrar a relação entre o magnetismo e eletricidade, ao notar que uma corrente elétrica em fios movimentou o ponteiro de uma bússola, a partir daí muitos outros físicos, como Faraday e Maxwell trabalharam para consolidar a ciência do eletromagnetismo. Os preceitos observados sobre este fenômeno incluem a formação de um campo magnético induzido por uma corrente elétrica, e a indução de uma corrente elétrica pela variação de um campo magnético. Uma das formas mais simples de se compreender este fenômeno é através de ímãs eletromagnéticos, neste tipo de equipamento, fios de um material condutor são enrolados, formando uma espiral, chamada de solenoide. Quando este arranjo é conectado a uma corrente elétrica, o solenoide passa a gerar um campo magnético. Muitos dispositivos, como motores, transformadores, sistemas de som, dentre outros, funcionam com solenoides (OKA, 2000; CINDRA; TEIXEIRA, 2005; ERENOĞLU; ERDİNÇ; TAŞCIKARAOĞLU, 2019; VICENTE; PINTO; SILVA, 2020).

Desde a descoberta da eletricidade, muitos dispositivos e equipamentos foram idealizados e construídos. Muitos cientistas estudaram e perceberam a viabilidade da utilização da eletricidade em vários segmentos destinados ao uso comum. Pode-se ver a origem de alguns equipamentos elétricos e corriqueiros na linha do tempo presente na Figura 5. No final do século XVIII Luigi Galvani, tentou direcionar a eletricidade para a reanimação de animais mortos, o que ficou conhecido como “A Dança das Rãs”. Esta pesquisa perdurou por anos, inspirando cientistas, místicos e escritores, como pode ser notado no romance “Frankenstein”, de Mary Shelley, de 1818, além de ter dado início às pesquisas da aplicação da eletricidade na medicina (SHELLEY, 2017; VICENTE; PINTO; SILVA, 2020)

Outros pontos presentes na Figura 5 podem ser destacados, como a criação do primeiro sistema de resfriamento elétrico, em 1856, por James Harrison, e a criação do Telarmônio, de Thaddeus Cahill, em 1896, um instrumento musical que chegou a pesar mais de 200 toneladas, foi feito para ser escutado através de captadores de som de telefones, sua interface era com teclas de um piano, entretanto seu som simulava instrumentos de sopro. Outro marco importante foi a construção do sistema elétrico para rádio, em 1897, que revolucionou sua época, por abrir a possibilidade de se utilizar o aparelho para fins de informação e lazer. Entretanto a maior disseminação dos aparelhos elétricos pelo mundo foi, durante, e após a 2ª guerra mundial, neste período houve a construção de fábricas destes equipamentos em países da América Latina e Ásia, a criação

de mais utensílios domésticos, como a máquina de arroz, em 1945, e o aperfeiçoamento dos já existentes (BODE, 1984; HIROTA et al., 2004; GLIK, 2020).

Figura 5 - Linha do tempo com alguns marcos sobre a eletricidade



Fonte: Elaborada pela autora

Como visto, dispositivos eletroeletrônicos se desenvolveram e aperfeiçoaram ao longo dos anos e, atualmente, são indispensáveis na vida moderna, eles auxiliam no dia-a-dia, informam, entretém, e até mesmo salvam vidas. Estes fatores demonstram a importância da eletricidade e do eletromagnetismo, bem como a necessidade de se estudar mais estes fenômenos para futuros avanços e melhorias.

2.6 A CELULOSE BACTERIANA MAGNÉTICA

Na literatura é possível encontrar trabalhos se referindo sobre a celulose bacteriana magnética ao longo dos anos. Soutry et al. (1997) descreveram a produção de uma película de CB impregnada com ferrita, com bons resultados acerca do nível de saturação magnética, embora a metodologia realizada tenha demonstrado uma alta dificuldade de síntese, por ter um grande risco de oxidação, devido ao uso de peróxido de hidrogênio.

Olsson et al. (2010) obtiveram o que foi denominado de "nanopaper". Ao contrário dos outros trabalhos anteriormente citados, que utilizaram ferrita para conferir propriedades magnéticas à película. Eles construíram uma liga de Ferro e Cobalto dentro

dos interstícios da película de CB. O produto obtido sofreu uma secagem crítica com nitrogênio líquido, transformando-se em um aerogel; mas, para se fazer o nanopaper, este foi prensado tal qual um sanduíche, com dois filtros de papel. O nanopaper apresentou um alto nível de absorção de água, resistência e coercitividade magnética, entretanto, a metodologia utilizada possui um alto custo, e assim como no trabalho anterior, uma difícil produção, ao fazer o uso de cloreto de cobalto, um composto tóxico, e secagem crítica.

Zhu et al. (2011) construíram esferas de CB impregnadas com magnetita, e propuseram o uso na adsorção de íons de metal pesado. Em testes realizados, foi comprovado que as esferas eram capazes de adsorver íons de Mn^{2+} , Pb^{2+} e Cr^{3+} , podendo assim este material ser utilizado no tratamento de águas e efluentes contaminados. A metodologia utilizada conta com a utilização de compostos de alto custo, como por exemplo, a celulase.

Zeng et al. (2014) produziram membranas de CB magnéticas através da decomposição termal de Tris(acetilacetato)ferro(III) ou $Fe(acac)_3$, dentro da estrutura da CB. A síntese foi realizada em um reator de microondas, o que deixa o procedimento mais caro, além de ter contado com outras etapas e vários reagentes. Ao final do trabalho, os autores obtiveram uma película magnética flexível, que foi dobrada em uma forma de origami.

Sriplai et al. (2018) utilizaram ferrofluido, um líquido que contém magnetita, obtido comercialmente, para conferir à CB propriedades magnéticas. Os autores utilizaram uma metodologia simples, contendo um composto caro, o ferrofluido, e conseguiram obter um material magnético, além de estudarem o efeito da interação do ferrofluido com a CB, quando esta última absorve previamente água ou álcool.

Sábio et al. (2019) obtiveram biopolímeros magnéticos de CB através da precipitação de cobalto-azul da prússia, hexacianoferrato de cobalto (II) ($CoHCFE$), de forma prática, e citaram aplicações em diversas áreas, como catálise, geração de energia, armazenamento de dados, biossensor, dispositivos ópticos e magnéticos.

Chanthiwong et al. (2020) utilizaram uma via semelhante à uma das apresentadas neste trabalho, com a precipitação da magnetita dentro da CB, eles estudaram de forma mais aprofundada sobre a influencia da concentração dos reagentes, para a síntese do mineral, e deram um direcionamento de aplicabilidade para a área médica.

Usawattanakul et al. (2021) criaram membranas de álcool polivinílico (PVA), nanocristais de CB e magnetita. Os pesquisadores criaram o material através de várias etapas, como a obtenção dos nano cristais de CB, após seu processo fermentativo, a

precipitação da Fe_3O_4 nos nanocristais através de uma coprecipitação in situ sob irradiação ultrassônica, e por fim a preparação dos filmes com PVA. No trabalho, foram sugeridas aplicações do material na fabricação de adsorventes e de dispositivos eletrônicos.

Gu et al. (2020) produziram membranas magnéticas com Fe_3O_4 , ácido oleico e com aerogels de CB nanocristalinas, um material mais refinado. Esse trabalho foi direcionado para a aplicação como adsorvente de substâncias hidrofóbicas, por final a formação de um aerogel hidrofóbico e magnético.

Todos os trabalhos citados conseguiram obter novos materiais magnéticos à base de CB, que podem ser destinados a várias aplicações; entretanto, ainda há o desafio comum a maior parte deles no que se refere ao alto custo e complexidade das metodologias.

3 METODOLOGIAS

3.1 METODOLOGIAS DE PRODUÇÃO

Para a confecção do biopolímero de CB magnética, bem como as análises de suas propriedades, foram executados as metodologias que seguem.

3.1.1 Manutenção do microrganismo

O microrganismo utilizado para a produção dos filmes de CB foi a bactéria *Gluconacetobacter hansenii* UCP1619, procedente do Banco de Culturas do Núcleo de Pesquisas e Ciências ambientais e Biotecnologia (NPCIAMB) da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). O microrganismo foi mantido em meio HS, descrito por Hestrin & Schramm (1954) e adaptado por Hungund & Gupta (2010). Este meio contém 2,0% de glicose (m / v), 0,5% de extrato de levedura (m /v), 0,5% de peptona, 0,27% de Na₂HPO₄ (m /v) e 0,15% de ácido cítrico (v/v).

3.1.2 Preparação do pré-inóculo

A etapa foi conduzida segundo a metodologia descrita por em Costa et al., (2017) e Galdino et al., (2019), onde primeiramente, a bactéria foi ativada, sendo inoculada em meio de ágar HS e incubada a 30 °C durante 48 h. As células já ativadas seguiram então para a preparação do pré-inóculo, o qual foi realizado em meio HS líquido, durante 48 h, a 30 °C.

3.1.1 Fermentação da CB

Para a elaboração da CB, 3% do pré-inóculo obtido foram inseridos no meio de produção, o meio utilizado foi o HS modificado, descrito em Costa et al., (2017) e Galdino et al., (2019), que contém 1.5% de glicose, 2.5% de milhocina, 0.27% de Na₂HPO₄, 0.15% de ácido cítrico, pH 5. A produção das películas de CB foi realizada de forma estática, à 30°C, durante 10 dias de crescimento. Após a produção, as CBs foram retiradas do líquido metabólico, para serem limpas e purificadas por imersão em uma solução de 4% de NaOH, durante 2h, e em seguida, lavadas com água deionizada.

3.1.2 Síntese da CB magnética por imersão

Primeiramente, foi preparada uma solução aquosa de íons de ferro, com cloreto de ferro II e III. A película de CB úmida foi imersa nesta solução durante 3 dias, visto que a mesma possui uma grande capacidade de absorção. A CB impregnada com os íons de ferro foi imersa em hidróxido de amônia, onde ficou 24h em repouso, para todos os íons contidos reagirem com o NH_3OH , formando assim a magnetita, Fe_3O_4 . Ao final do tempo de imersão, a CB magnética foi lavada com água destilada e seca em estufa com fluxo de ar. As películas produzidas por esta metodologia foram nomeadas de CBMI. Esta metodologia é semelhante à utilizada por este resultado também se assemelha ao obtido por Chanthiwong et al (2020).

3.1.3 Síntese da CB magnética com CB triturada (polpa de CB)

A CB úmida foi triturada em um *mixer*, da marca Oster, modelo FPSTHB2610R-017, atingindo uma consistência pastosa. Em seguida, uma alíquota de uma solução aquosa de íons de ferro, com cloreto de ferro II e III foi misturada à CB triturada. Uma alíquota de hidróxido de amônio foi acrescida posteriormente mistura para reagir com os íons de ferro, formando, assim, partículas de magnetita. Em algumas amostras, uma pequena quantidade de glicerol foi adicionada. A mistura de CB magnética foi moldada em uma placa de Petri e sua secagem foi realizada em uma estufa com fluxo de ar. Nesta metodologia foi possível fazer o controle, em massa, da proporção entre CB e partículas de magnetita, sendo 60% em massa de CB e 40% de Magnetita. Estas películas foram chamadas de CBMP. Nas amostras contendo glicerol, a proporção foi de 0,01% de glicerol na mistura total, sendo essas amostras nomeadas de CBMPG.

Na literatura, Usawattanakul et al. (2021) não optaram pela utilização de CB pura na confecção de biocompósitos magnéticos, entretanto eles fizeram um tratamento onde a CB ficou em pedaços nanométricos (nanocristais de CB), e também utilizaram um aditivo (PVA), a fim de se obter um material mais flexível.

3.2 METODOLOGIAS DE ANÁLISES

3.2.1 Difractometria de Raio-X (DRX)

A identificação das fases, presentes nas amostras deste trabalho, foram realizadas por um difratômetro Shimadzu XRD-7000. As medidas foram realizadas com as amostras em forma de pó sobre suporte de alumínio, no intervalo de 10 a 80 graus em 2θ , com radiação $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,54056$) e velocidade de varredura de $0,5^\circ/\text{minutos}$ em modo contínuo. Os tamanhos das partículas foram calculados através da Equação de Scherrer, como descrito por Burton et al. 2009, e Mascolo et al., 2013.

3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a realização da Microscopia Eletrônica de Varredura, as amostras foram metalizadas com camadas finas de ouro, e as imagens foram obtidas através de um microscópio eletrônico da marca Tescan, à temperatura ambiente. As imagens foram obtidas em grandezas micrométricas e nanométricas. Foram tiradas fotos da superfície do centro das amostras e de suas bordas.

3.2.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Com a finalidade de identificar os grupos funcionais presentes na amostra, os ensaios de espectroscopia na região de infravermelho foram realizadas em um espectrômetro Shimadzu IRTracer 100. Os espectros das amostras foram analisados em uma faixa de 400 à 4000 cm^{-1} , com uma resolução de 4 cm^{-1} e 128 varreduras.

3.2.4 Magnetometria de Amostra Vibrante

As curvas de Histerese Magnéticas foram obtidas com um equipamento VSM (Magnetometro de Amostra Vibrante) da marca MicroSense, à temperatura ambiente e com a aplicação de um campo magnético que variou em m intervalo de -20 à 20 kOe . O aparelho operou com uma sensibilidade de 10^{-5} meu . Os valores dos Campos, Coercitivo (H_c), e de *Exchange Bias* (H_{eb}) foram calculados através das equações encontradas em Phan, 2016.

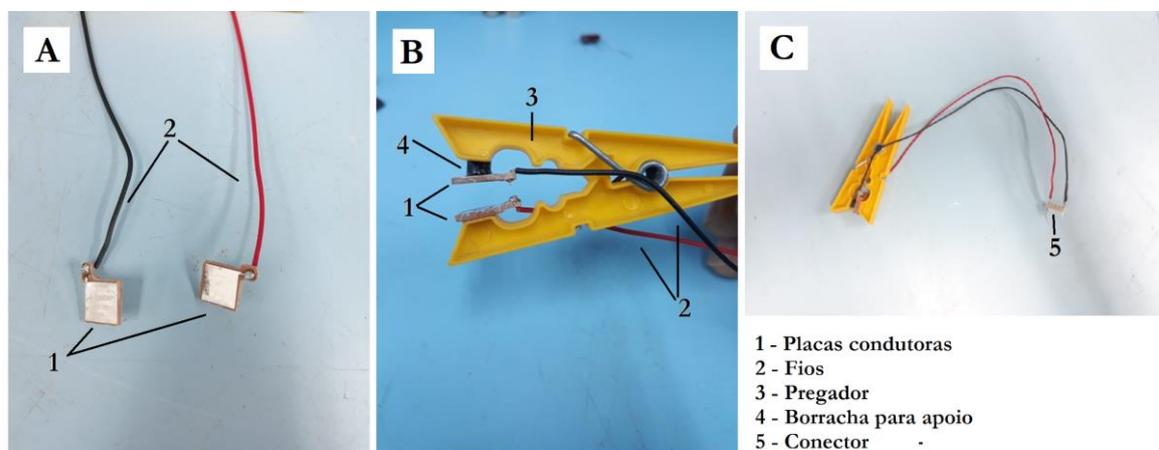
3.2.5 Análise Termogravimétrico (TGA)

As análises termogravimétricas foram realizadas em um aparelho Metter Toledo TGA 2, com uma variação de temperatura, de 20°C (temperatura ambiente) à 600°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, sob um fluxo de nitrogênio de 50 mL/min.

3.2.6 Caracterização elétrica

Os testes foram realizados na oficina mecânica do Departamento de Física da Universidade Federal de Pernambuco. Foram mensuradas as resistências, capacitâncias e constantes dielétricas das amostras, de forma semelhante à metodologia descrita em Arantes et al (2019). Quadrados medindo 1cm x 1cm das amostras foram recortados e colocados em um protótipo de capacitor, contendo chapas de metal condutores, na dimensão de 0,9 x 0,9 cm, conforme apresentado na Figura 6. As chapas condutoras são feitas de cobre, esmaltadas com estanho, para se evitar oxidação. As superfícies metálicas foram coladas em um pregador, a fim de se manter uma pressão constante no conjunto. Uma borracha foi presa entre uma das placas e o pregador, para assegurar a posição paralela e reta entre estas e fios de cobre foram soldados nas extremidades das placas e em um terminal conector para melhorar o contato com os terminais do capacitômetro. As capacitâncias foram medidas em duas frequências diferentes, 1KHz e 120Hz.

Figura 6 - Protótipo utilizado para medição de propriedades elétricas das películas. A - Fios soldados nas placas de material metálico. B - Protótipo aberto, para a inserção das películas entre suas chapas condutoras. C - Visão geral do protótipo.



Fonte: Elaborada pela autora

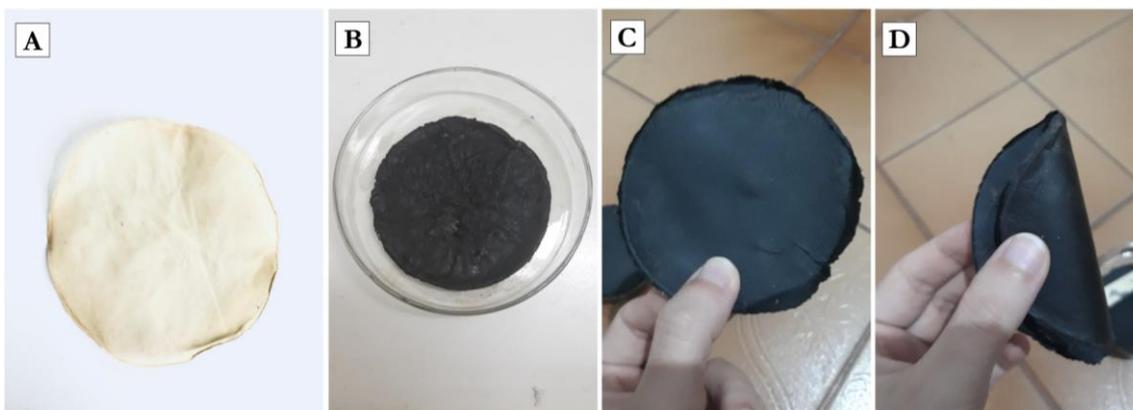
As resistividades das membranas foram calculadas através da Equação 2, enquanto que suas constantes dielétricas foram obtidas através da Equação 4, descritas anteriormente no item 2.5.

As espessuras das membranas não foram mudadas ou adaptadas, os testes foram realizados com o material nas espessuras tais quais foram obtidas no processo de produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos processos de produção, as películas de CB magnéticas, apresentaram diferentes aspectos visuais. As CBs magnéticas oriundas da síntese por imersão (CBMI) tiveram um aspecto mais cerâmico, ficaram quebradiças e com mais resistência à flexões que as demais, enquanto que as geradas pela síntese com CB triturada (polpa), sem o uso de glicerol, (CBMP) se mostraram com uma aparência mais semelhante à de papel, com um pouco mais de flexibilidade que a película CBMI. Já as membranas que foram acrescidas de glicerol, (CBMPG), tiveram uma maior flexibilidade, sem apresentar rupturas ao serem dobradas, semelhante ao aspecto da membrana de CB magnética obtida por Zeng et al. (2014). Todos os biocompósitos magnéticos apresentaram coloração escura, devido ao acréscimo da magnetita, conforme demonstrado na Figura 7, tal aspecto também é relatado na literatura, nas CBs com magnetita criadas por Olson et al. (2010), Zhu et al. (2011), Zeng et al. (2014), Sriplai et al. (2018) e Chanthiwong et al (2020).

Figura 7 - A - Celulose Bacteriana pura (CB). B - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI). C - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP). D - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).

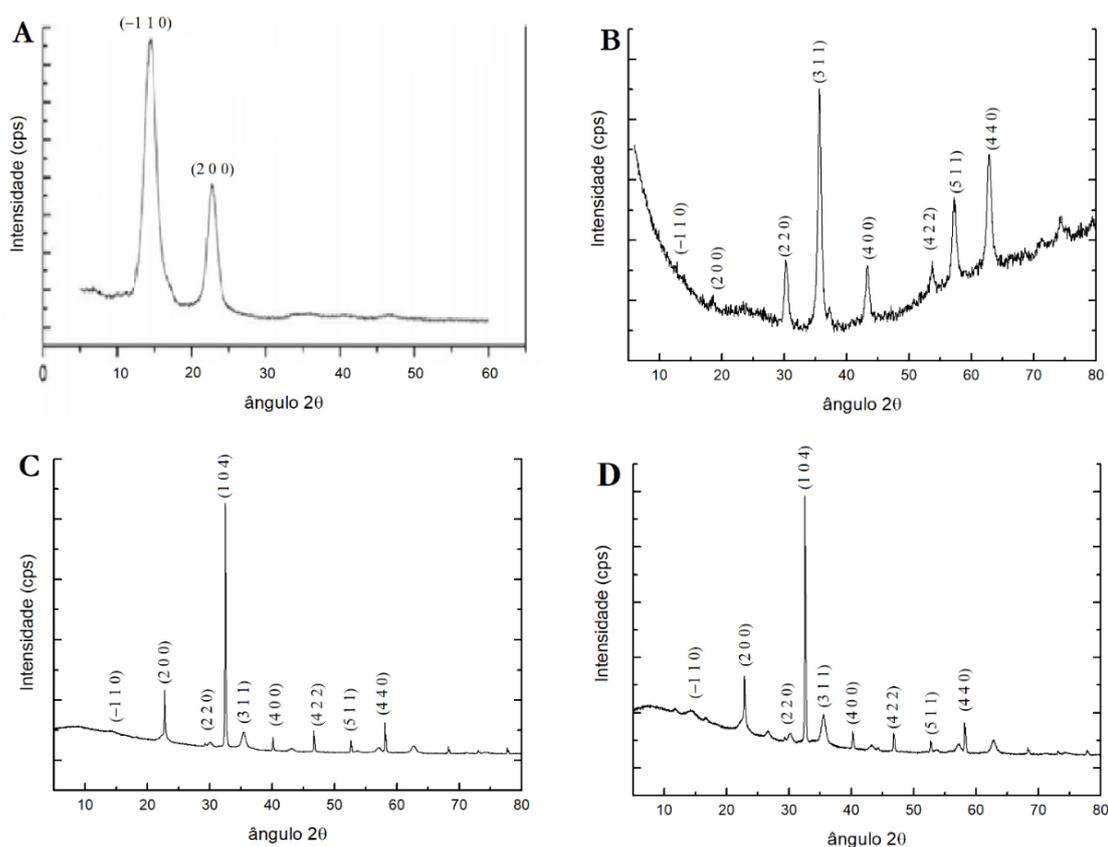


Fonte: Elaborada pela autora

4.1 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

As análises de difratometria de Raios X geraram gráficos correspondentes aos ângulos cristalinos para as membranas magnéticas produzidas, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Gráficos de DRX das membranas das películas obtidas. A - Celulose Bacteriana pura (CB). B - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI). C - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP). D - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).



Fonte: Elaborada pela autora

Todas as membranas apresentaram picos característicos da magnetita, como pode ser observado na Figura 8 B, C e D, em ângulos de aproximadamente, 18°, 30°, 35°, 43°, 56° e 62°, o que se assemelham-se de resultados como os descritos em Costa (2013), Diniz et al., (2015), Zhu et al., (2011), Sriplai et al., (2018) e Chanthiwong et al. (2020). Sinais

em ângulos nestas faixas correspondem, respectivamente, aos planos (2 2 0), (3 1 1), (4 0 0), (4 2 2), (5 1 1) e (4 4 0) de um cristal de magnetita (COEY, 2010; DINIZ et al., 2010).

Nos gráficos referentes à difratometria dos compósitos (Figura 4B, C e D), outros picos, além dos correspondentes à magnetita, podem ser notados nos ângulos de aproximadamente 15° e 23° em algumas amostras, sendo mais perceptíveis que em outras. Estes mesmos picos podem ser encontrados no gráfico de CB pura, obtido pelo grupo de pesquisa, presente em Costa et al. (2017), presente na Figura 8A. Eles equivalem, respectivamente, aos plano (-1 1 0) e (2 0 0), que caracterizam uma CB pura. Costa et al. (2017), utilizou o mesmo meio de cultura de fermentação para a produção de películas de CB, e obtiveram sinais similares aos de membranas produzidas através do meio Hestrin & Schramm (1954).

A membrana CBMI, possui um resultado mais similar com a difratometria da magnetita pura, com sinais significativos nos ângulos referentes ao material magnético, o que acabou inibindo os sinais para os ângulos cristalinos referentes à estrutura de CB pura. Tal efeito pode ser explicado pela quantidade de magnetita existente no material. Na metodologia utilizada para a produção desta película, a CB ficou imersa na solução iônica de ferro durante 3 dias, o que saturou a membrana com os íons de ferro, posteriormente convertidos em Fe₃O₄, o que influenciou nesta análise e em análises posteriores.

Além dos picos característicos da magnetita, as películas CBMP e CBMPG (Figura 8C e D), também apresentaram um pico característico da hematita, com uma alta intensidade, que se localiza no ângulo de 32° no gráfico, correspondente ao plano (1 0 4). A hematita é um óxido de ferro, α - Fe₂O₃, que também apresenta propriedades magnéticas, e assim como a magnetita, é formado pela oxidação do ferro. Durante o processo de síntese destas membranas, é possível que tenha se formado também uma certa quantidade deste composto.

Os tamanhos das partículas obtidas através da equação de Scherer, foram respectivamente, CBMI – 15,28 nm, CBMP – 74,93 nm e CBMPG – 134,24 nm. É possível notar que as partículas de Magnetita presentes na CBMI apresentaram menores tamanho, enquanto que os cristais de óxido de ferro presentes na membrana CBMP atingiram maiores valores. Este comportamento pode ser justificado pela diferença entre suas sínteses. A CBMPG foi produzida por uma síntese semelhante à da película CBMP; entretanto, este material teve a adição de glicerol, durante sua produção, o que pode ter induzido os cristais de óxido de ferro a alcançarem dimensões reduzidas. Na literatura, é

possível observar variações entre os tamanhos de cristais formados para magnetita, como descrito por Olson et al. (2010), que obtiveram em suas amostras de CB com Magnetita e CoCl_2 , cristais de dimensões que variaram de 43 à 120 nm, enquanto que Zhu et al. (2011) obteve cristais de Fe_3O_4 em membranas de CB de 15 nm, valor próximo ao encontrado na membrana CBMI.

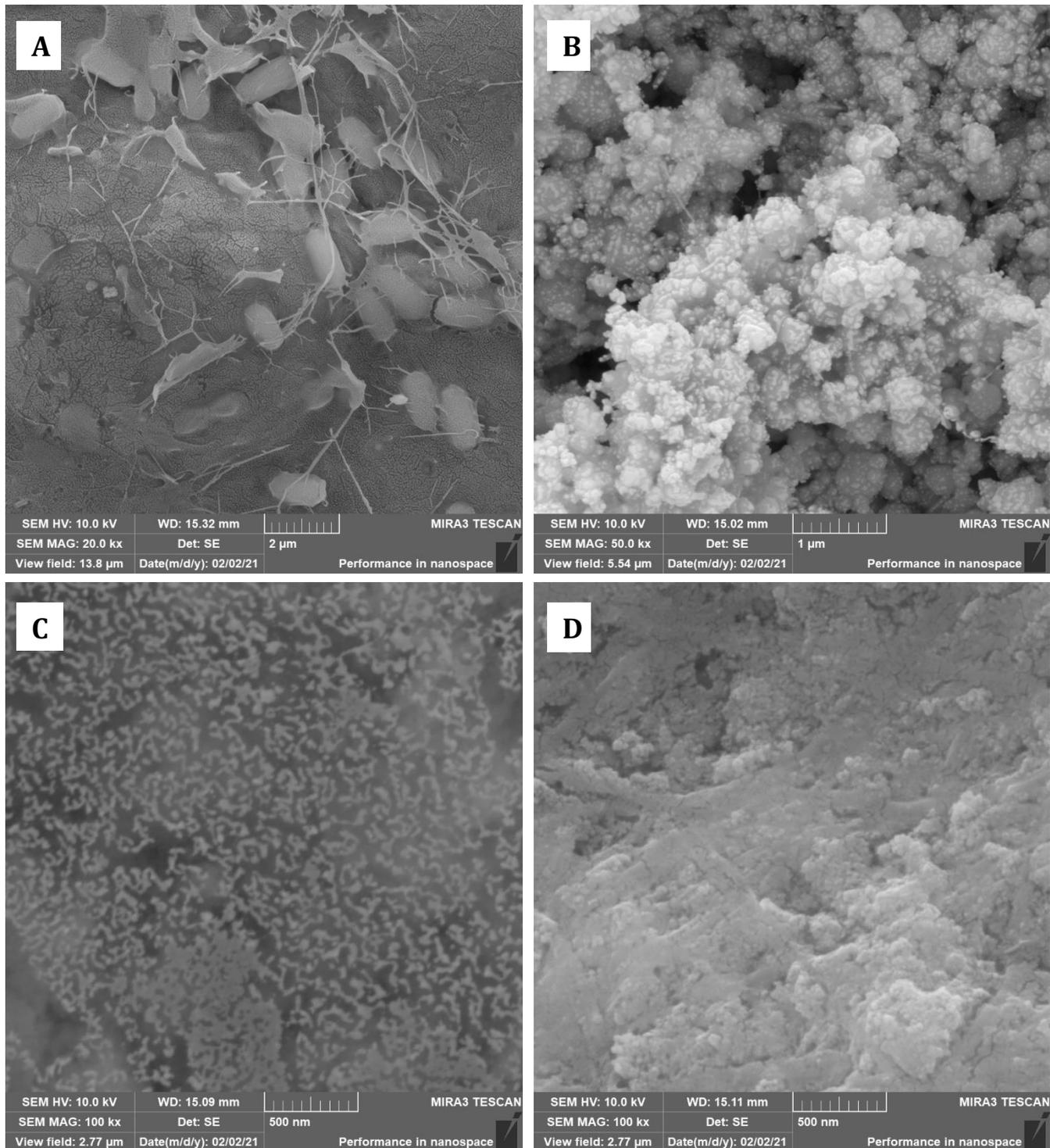
4.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A análise de microscopia realizada demonstrou partículas esféricas nos interstícios das nanofibras de CB, como pode ser observado nas Figuras 9 e 10. Na Figura 9A, que se refere à CB pura, é possível notar as fibras nanométricas que estavam sendo excretadas pelas bactérias produtoras, que no momento já estavam mortas.

Na Figura 9B, referente à amostra CBMI, é possível visualizar partículas nanométricas aglutinadas em blocos, bem definidos, nos quais cobrem as fibras de CB. Na Figura 9C, referente à película CBMP, também é notável partículas esféricas nanométricas, entretanto, elas se encontram mais espaçadas, enquanto que na Figura 9D, referente à CBMPG, as nanoesferas se encontram de forma mais aglutinada e condensada.

As partículas observadas nas Figura 9B, C e D, apresentam formas esféricas, tais quais as obtidas por Mascolo, Pei e Ring (2013) e Diniz et al. (2015) que também realizaram uma microscopia de varredura em suas amostras de magnetita, e também se assemelham as produzidas por Zhou et al. (2008) que produziram membranas de CB com Fe_3O_4 .

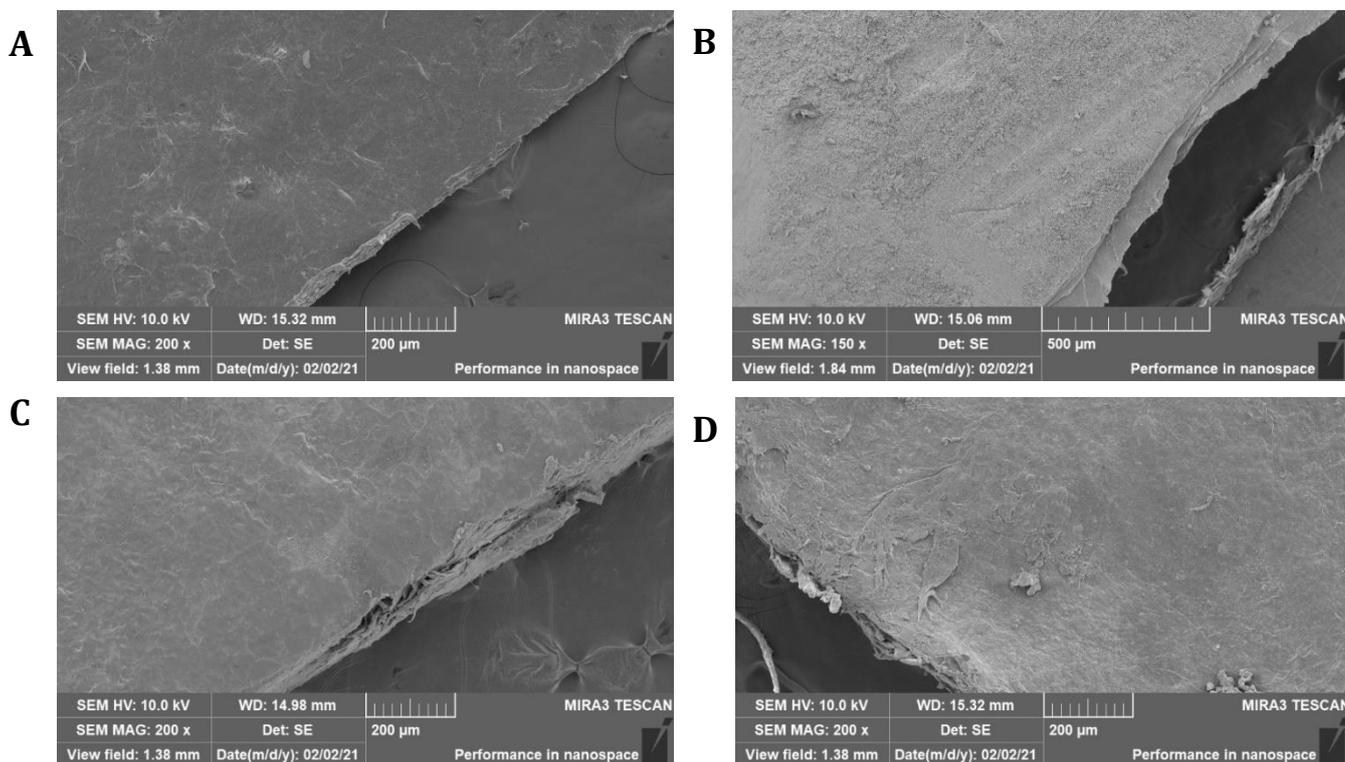
Figura 9 - Imagens obtidas através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das membranas produzidas. A - Celulose Bacteriana pura (CB). B - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI). C - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP). D - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).



Fonte: Elaborada pela autora

Esta variedade de disposições dos cristais de magnetita nas fibras de CB, apontam a influência das metodologias de síntese na formação destes materiais. Na imagem referente à CBMI, película produzida pela metodologia de imersão, Figura 9A, pode-se observar que as esferas de Fe_3O_4 formaram estruturas ao longo das fibras de CB, enquanto que na película CBMP (produzida por CB triturada), Figura 9C, as partículas ficaram espaçadas, pois além desta membrana ter uma quantidade menor de magnetita, as fibras estavam trituradas, oferecendo comprimentos menores para os cristais se instalarem. No caso da membrana CBMPG, produzida pela síntese com CB triturada e glicerol, Figura 9D, a microscopia revelou que todo o material presente (partículas de Fe_3O_4 e fibras de CB trituradas), se encontra aglutinado, apresentando na imagem formas poucos definidas, este efeito pode ter sido provocado pelo glicerol presente em sua estrutura.

Figura 10 - Imagens obtidas através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das bordas das películas produzidas. A - Celulose Bacteriana pura (CB). B - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI). C - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP). D - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).



Fonte: Elaborada pela autora

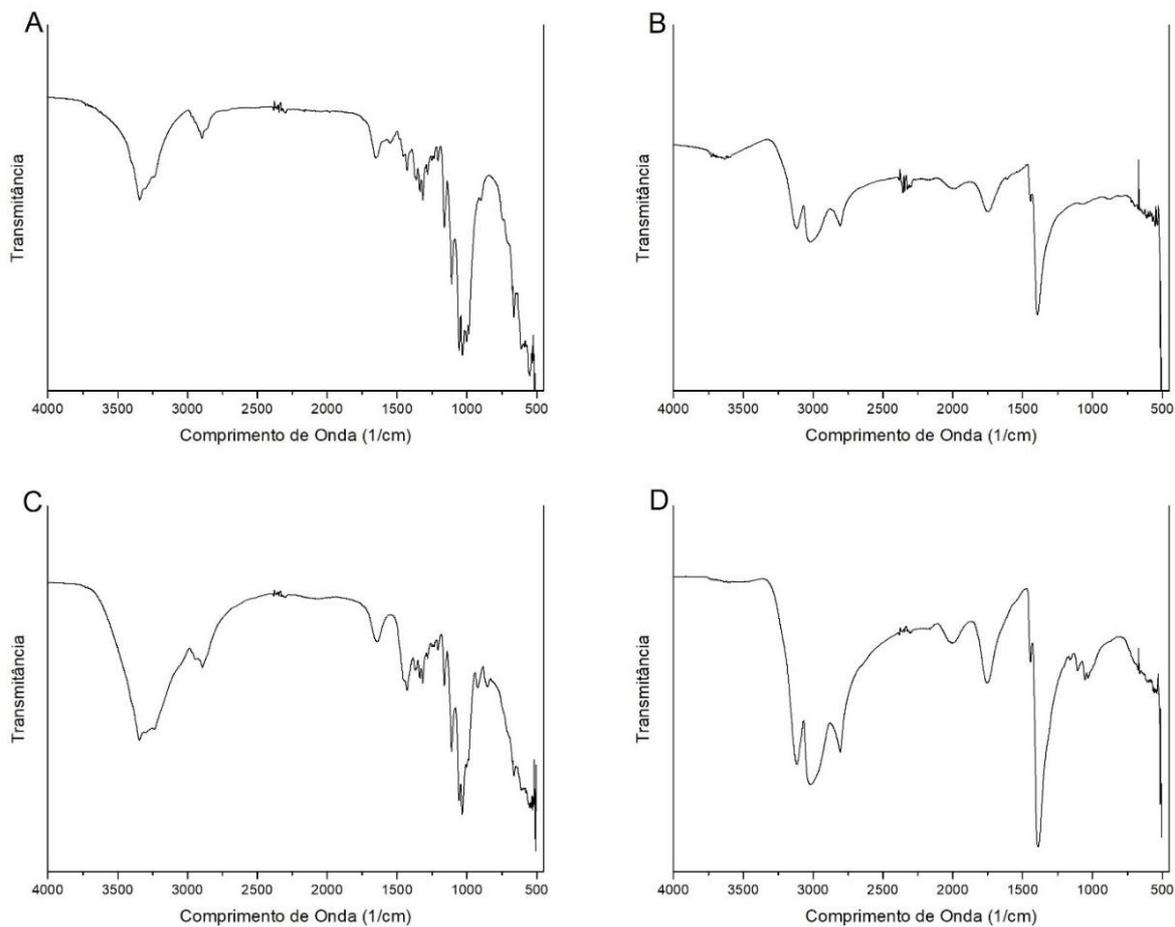
Outro ponto que pôde ser observado através da microscopia, foi o modo em que as fibras estão dispostas em cada película. A Figura 10 captou as bordas dos materiais produzidos. A Figura 10A, que expõe a borda da membrana de CB pura, revela uma rede de fibras organizada em sobreposições, um comportamento mencionado anteriormente, no item 2.2: Películas de CB são formadas por camadas de fibras durante a fermentação. Da mesma forma, na Figura 10B, referente à CBMI, é possível ver as camadas sobrepostas icônicas da CB. Nas imagens referentes às bordas das membranas CBMP e CBMPG, películas que foram feitas com CB trituradas, e com isto perderam a sua formação inicial (Figura 10C e D respectivamente), também é notável a presença de estruturas que parecem camadas, entretanto estas não foram originárias do processo de fermentação da CB, mas possivelmente pelo espaço do recipiente utilizado. Devido ao espaço delimitado pelo recipiente utilizado no processo de síntese, as fibras presentes na polpa de CB, utilizada nas metodologias de produção das CBMP e CBMPG, ficaram empilhadas, parecendo camadas nas imagens de microscopia.

4.3 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

O ensaio de infravermelho apontou sinais de comprimentos de ondas referentes à CB e à Magnetita presentes nas amostras, como demonstrado nos gráficos contidos na Figura 11.

Cada tipo de ligação entre compostos vibra, apresentando sinais em comprimentos de ondas diferentes. Com isto, a partir dos gráficos apresentados na Figura 9, foram extraídos, entre os gráficos, os valores máximos e mínimos de comprimentos de ondas, para cada tipo de vibração. Em seguida, estes intervalos foram comparados com os intervalos de picos citados na literatura, conforme demonstrado na Tabela 1.

Figura 11 - Gráficos de infravermelho (FTIR) das películas estudadas. A- Celulose Bacteriana pura (CB). B - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI). C - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP). D - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).



Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 1 - Ligações entre elementos com seus respectivos intervalos de referência, citados na literatura, em comparação com os valores máximos e mínimos dos picos obtidos nas amostras de celulose bacteriana analisadas.

| Ligações | Valores máximos e mínimos dos Comprimentos de Ondas Obtidos nos gráficos da Figura 5 | Valores de Referência para Comprimentos de Onda | Referências |
|--|--|---|--|
| OH | 3343 à 3114 | 3500 à 3000 | Skoog, Holler e Nieman (2002); Arantes et al. (2019); Liu et al. (2020); Yordshahi et al. (2020) |
| CH | 3016 à 2892 | 3000 à 2870 | |
| C=O | 1652 à 1635 | 1630 à 1560 | |
| CH ₂ (movimento de tesoura) | 1449 à 1408 | 1455 à 1400 | |
| CH ₃ (movimento de Balanço) | 1390 à 1370 | 1390 à 1370 | |
| C-O | 1030 à 1329 | 1360 à 1030 | |
| FeO | 517 à 507 | 600 à 500 | Stoia, Istratie e Pacurariu (2016); Ishii, Nakahira e Yamanaka (1972) |

Fonte: Elaborada pela autora

De acordo com a Tabela 1, todas as amostras apresentaram sinais de ligações pertencentes à CB, desde a amostra de CB pura, obtida pelo meio de fermentação alternativo (Figura 11A), até todas as películas impregnadas com magnetita. Todos os comprimentos de onda se encaixam nos intervalos encontrados na literatura. O único gráfico que não foi considerado na última linha da Tabela 1, referentes à ligação Fe-O, foi o da CB pura (Figura 11A), por esta amostra não ter sido acrescida de magnetita.

Na película CBMPG, os sinais associados às ligações de C-O e O-H, demonstrado da Figura 9C, se mostram mais intensos, devido à presença do glicerol no material. Há um sinal bem acentuado e abrupto no comprimento de onda referente à ligação Fe-O, no gráfico referente à membrana CBMI. Este pico se destaca nessa amostra, devido presença de uma grande concentração de Fe₃O₄. Na literatura, Sriplai et al. (2018), que também produziram compósitos de CB com Fe₃O₄, obtiveram gráficos de FTIR semelhantes, bem como Arantes et al. (2019), que produziram membranas de celulose vegetal com magnetita.

4.4 MAGNETOMETRIA DE AMOSTRA VIBRANTE

A Figura 12 ilustra as curvas de histerese magnética obtidas para as amostras analisadas. As medidas mostraram uma boa correspondência com os resultados de DRX e com os métodos utilizados durante a preparação das amostras. É perceptível o como a mudança de metodologias de preparação das membranas influi nas curvas magnéticas de cada amostra, assim como influenciou nos picos de DRX.

Os gráficos contidos na Figura 12 apontam o efeito *Exchange Bias* nas amostras de CB magnéticas. Este efeito ocorre devido à interação de partículas ferromagnéticas e antiferromagnéticas dentro do material. Nesta situação, os momentos magnéticos destas partículas respondem de formas distintas, quando expostos à um campo magnético, e esta ação resulta no deslocamento do centro da curva de histerese, graficamente.

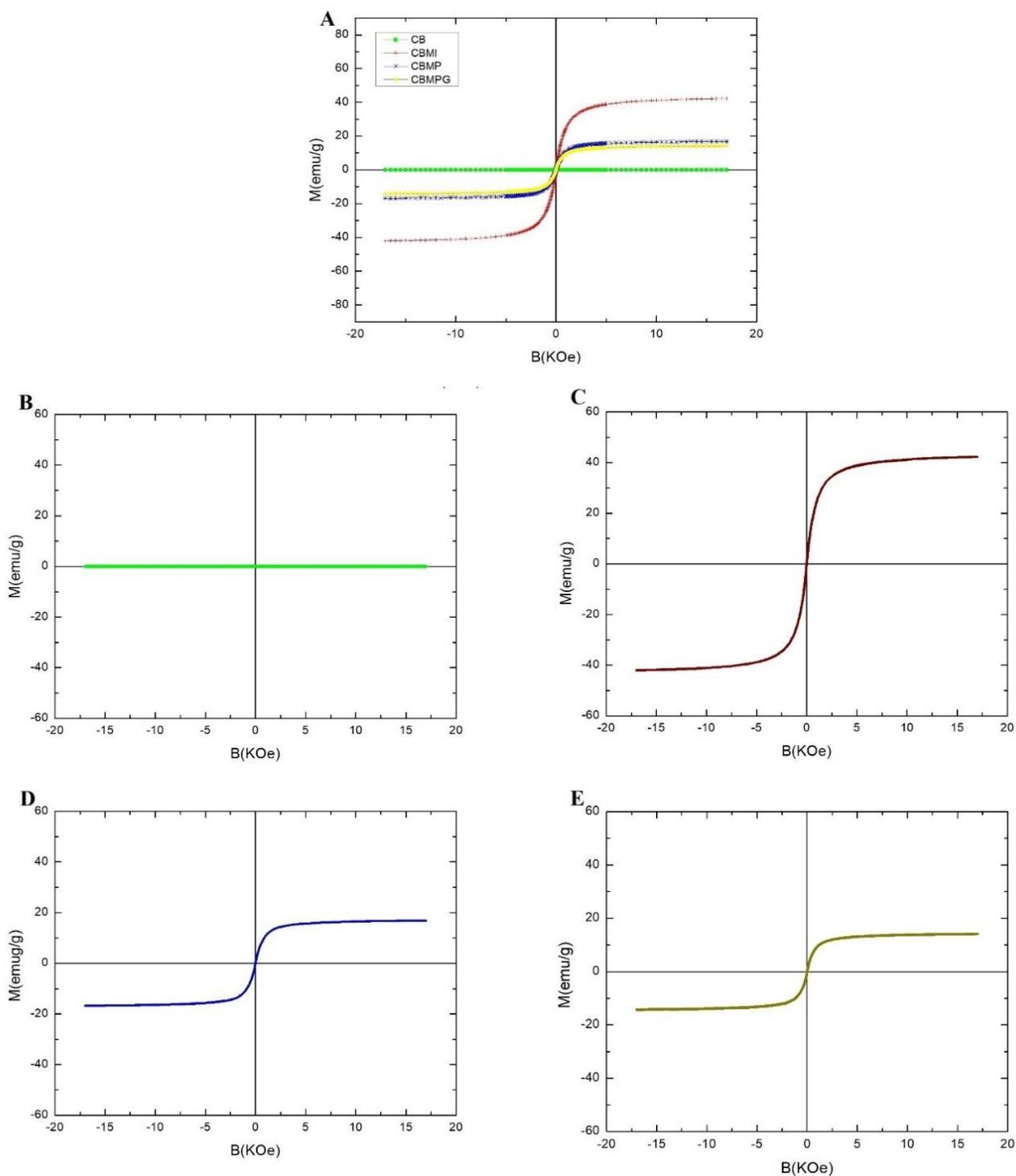
O teste de histerese apontou características magnéticas dos materiais, como a magnetização de saturação (M_s), Campo de Exchange Bias (H_{eb}), Campo Coercitivo (H_c), específicas de cada amostra. Estes valores se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Características magnéticas mensuradas a partir dos gráficos de histerese magnética, para cada amostra de celulose bacteriana estudada, Celulose Bacteriana pura (CB), Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI), Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP) e Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).

| Amostras | Heb (emug/g) | Hc (emug/g) | Ms (emug/g) |
|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| CBMI | 6,331 | 11,662 | 42,212 |
| CBMP | 4,607 | 4,101 | 16,819 |
| CBMPG | 5,669 | 4,347 | 14,120 |

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 12 - Curvas de magnetização, M (emu/g), x Campo magnético aplicado, B (KOe), das amostras analisadas. A - Gráfico apresentando todos os materiais. B - Celulose Bacteriana pura (CB). C - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI). D - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP). E - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).



Fonte: Elaborada pela autora

Na membrana de CB pura (Figura 12B), a curva de magnetização versus campo, não teve um momento magnético significativo. Com isto, essa película não apresentou um sinal magnético relevante.

A Figura 12C, que corresponde à película CBMI, demonstrou um sinal intenso em sua medida magnética. Como pode ser observado na Figura 8B, todos os picos de DRX desta amostra correspondem à cristais de magnetita. Este certamente é motivo da grande diferença entre o sinal desta amostra e o das outras duas membranas (CBMP e CBMPG). Esse compósito, devido ao seu alto teor de magnetita, apresentou um valor de M_s que se aproxima até mesmo aos valores encontrados para a Magnetita pura, descritos na literatura. Coey (2010) coloca o ponto de saturação entre 30-50 emu/g, além de ter obtido um H_c superior ao das outras amostras. Como apresentado nos resultados de DRX, o tamanho médio do cristalito da membrana de CBMI é de 15,28 nm; entretanto, não há a possibilidade de surgimento de múltiplos domínios magnéticos em partículas de magnetita deste tamanho, pois o tamanho crítico de monodomínio deste material é de 126 nm para partículas esféricas. Este resultado se assemelha ao obtido por Chanthiwong et al (2020), que teve uma M_s semelhante para películas de CB impregnadas com cristais de magnetita, com cristais numa faixa de tamanho de 10 à 17nm. (FRANCISQUINI; SCHOENMAKER; SOUZA, 2014).

Assim como em CBMI, todas as amostras apresentadas estariam no limite de serem monodomínio, pois o tamanho médio obtido pelo DRX foi de: CBMI – 15,28 nm, CBMP – 74,93 nm e CBMPG – 134,24 nm. Todavia, estes valores correspondem à valores médios, existindo assim partículas de magnetita com diversos tamanhos dentro de cada membrana. Quanto às películas CBMP e CBMPG, estas alcançaram valores de M_s semelhante aos obtidos pelas películas de CB com Fe_3O_4 , produzidas por Zhou et al. (2008), que estão entre 4,2-21,2 (emu/g). A amostra CBMPG possui cristais menores que os encontrados em CBMP; entretanto, o efeito foi diferente do apresentado pela película CBMI, pois esta película, além da CB e da Magnetita, também possui em sua composição o glicerol, material paramagnético, que interferiu de forma negativa na saturação magnética, em Usawattanakul et al. (2020), que confeccionou películas de CB magnéticas com PVA, houve um comportamento semelhante, onde esses materiais obtiveram M_s baixas, devido a presença do aditivo orgânico.

Mesmo com a interferência do glicerol, a membrana CBMPG atingiu uma M_s próxima, e um campo coercitivo levemente superior ao da película com cristais de dimensões maiores, ou seja, à película CBMP. Contudo, o motivo para os sinais

magnéticos das amostras CBMP e CBMPG serem significativamente menores (Figuras 10A, D e E) não estaria associado ao tamanho médio de suas partículas, mas sim por um aspecto marcante expresso anteriormente pelas medidas de DRX, ou seja, a possível presença de hematita nessas amostras, apontada pelo pico intenso no ângulo de 32° , nos gráficos presentes nas Figuras 8C e D. A hematita possui sinal magnético menor que a Fe_3O_4 em temperatura ambiente (FRANCISQUINI; SCHOENMAKER; SOUZA, 2014).

O campo coercitivo encontrado em todas as Películas com magnetita é característico de materiais magnéticos moles, que tem a capacidade de serem magneticamente carregados e descarregados de forma rápida. Na literatura, películas com esta mesma composição, ou semelhante, apresentaram este mesmo tipo de H_c , bem como a própria magnetita (ZHOU et al., 2008; OLSSON et al., 2010; ZHU et al., 2011; DINIZ et al., 2015; ARANTES et al., 2019).

As películas magnéticas, por serem um material maleável, encontram aplicação potencial na área de armazenamento de dados e dispositivos como HD, que dependem de materiais magnéticos flexíveis para gravar ou excluir informações. Além do HD, outros dispositivos, como cabos de passagem de dados, como por exemplo cabos do tipo SATA, se utilizam deste tipo de materiais magnéticos.

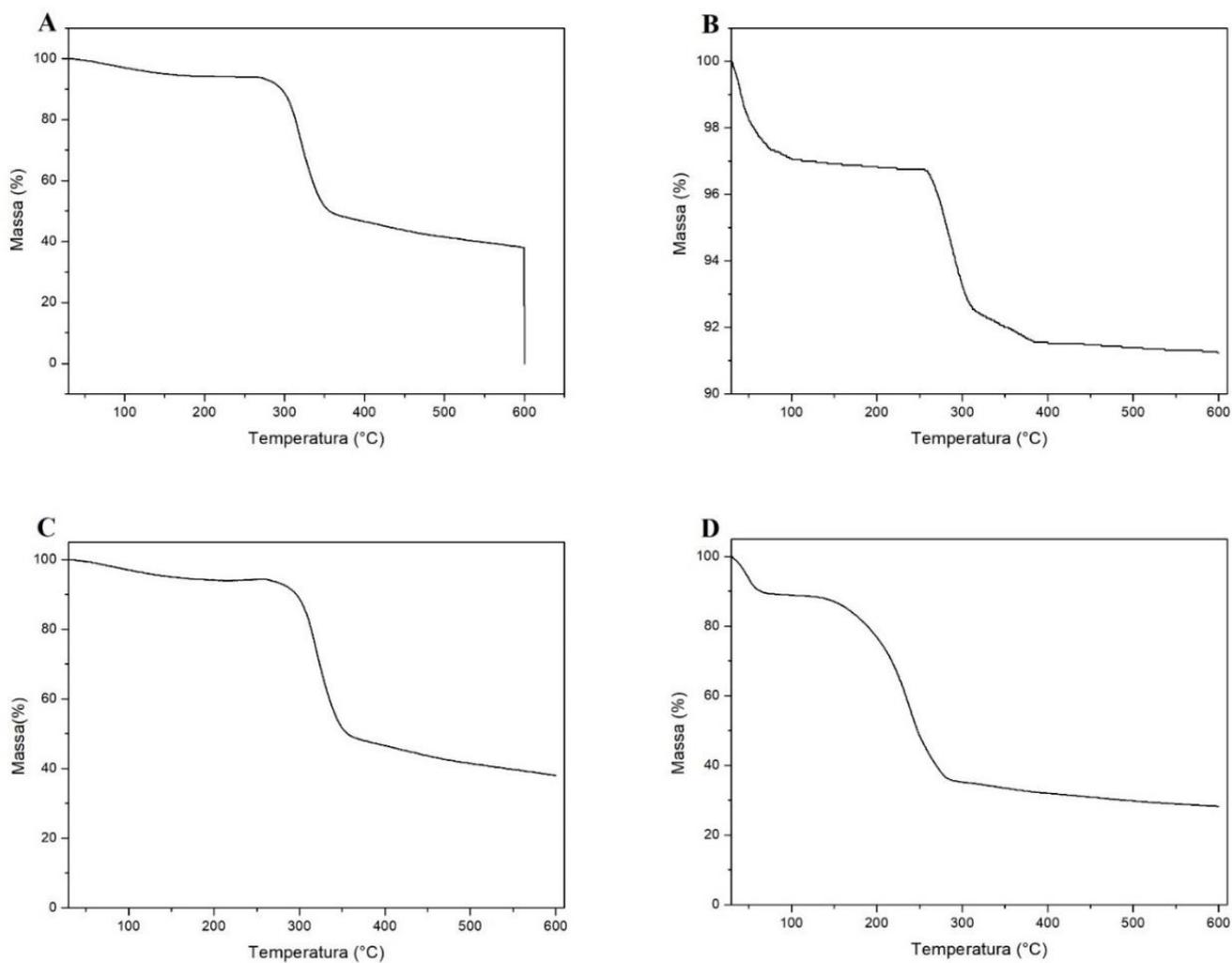
Outra aplicação possível para as películas magnéticas, seria a sua utilização na purificação de água, combinadas com hipertermia. Nesse tipo de aplicação, a formação de micro-organismos pode ser inibida ou atenuada se um campo magnético alternado for aplicado na região onde se encontra a membrana instalada. Para este tipo de utilização, se fazem necessários testes mais específicos e práticos, para se obter uma análise detalhada de parâmetros que permitam a criação de metodologias eficazes no tratamento de água.

Há também possibilidades de aplicações que podem ser consideradas, como dispositivos sofisticados de *drug delivery*, elementos dentro de sistemas de ressonância magnética e sensores para diversas finalidades, dentre outros.

4.5 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

Através do ensaio Termogravimétrico, foi possível verificar as resistências térmicas das amostras dos compósitos de CB, conforme demonstrado nos gráficos da Figura 13.

Figura 13 - Curvas de TGA das películas. A - Celulose Bacteriana pura (CB). B - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI). C - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP). D - Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).



Fonte: Elaborada pela autora

De acordo com os dados obtidos pela análise e pelos gráficos contidos na Figura 13, foi possível criar uma tabela (Tabela 3), contendo as temperaturas de degradação de cada estágio, bem como a porcentagem de massa decomposta em cada compósito.

Tabela 3 - Temperatura de degradação de cada fase nas películas obtidas, Celulose Bacteriana pura (CB), Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI), Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP) e Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG).

| Amostras | CB | CBMI | CBMP | CBMPG |
|---|-----------|-------------|-------------|--------------|
| Intervalo de degradação do 1º Estágio (°C) | 280 à 380 | 30 à 100 | 30 à 100 | 30 à 62 |
| Perca de massa da amostra até o 1º Estágio (%) | 51 | 3 | 5 | 10 |
| Intervalo de degradação do 2º Estágio (°C) | 599 | 265 à 384 | 267 à 369 | 147 à 300 |
| Perca de massa da amostra até o 2º Estágio (%) | 100 | 10 | 52 | 65 |
| Massa mantida ao final da análise (%) | 0 | 90 | 48 | 35 |

Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 13A mostra a variação da perda de massa da CB com o aumento da temperatura. É perceptível a presença do primeiro estágio de degradação, a partir da temperatura de 280°C. Após esta primeira perda de massa, cerca de 49% da amostra permanece resistindo à temperatura, até esta atingir 599°C, onde a mesma degrada abruptamente por completo.

Em CBMI, de acordo com o gráfico demonstrado na Figura 13B e na Tabela3, houve um estágio de degradação inicial, na temperatura de partida, até os 100°C, onde a massa do composto decaiu 3%. Essa degradação inicial está associada provavelmente à eliminação da água em sua estrutura, o que justificaria uma diminuição de sua massa até os 100°C, onde a amostra seguiu estável. Houve uma segunda perda mínima a 265°C, deixando-a com 90% de massa, e assim a amostra prosseguiu ao longo do intervalo de aquecimento. Esta alta percentagem de massa residual pode ser atribuída à magnetita presente na membrana, que possibilitou uma maior conservação na massa da mesma.

Na película CBMP, houve também um decaimento de massa inicial, que pode ser referente à desidratação da amostra, uma vez que este primeiro intervalo durou até o ensaio atingir os 173°C. Esta primeira degradação reduziu 5% de massa da membrana.

Este primeiro estágio pode ter durado um pouco mais, ultrapassando os 100°C, devido à disposição das gotículas de água entre as nanofibras da CB triturada. Após o primeiro estágio, o compósito se manteve estável até os 267°C, onde houve um decaimento da massa, restando 48% da membrana.

A membrana CBMPG também teve uma perda de massa inicial; entretanto, este primeiro estágio parou antes dos 100°C, indo até os 62°C, voltando à ter uma degradação quando a temperatura do sistema atingiu os 147°C. Este comportamento pode ser explicado pela disposição e interação da água e do glicerol no interior da membrana, pois o glicerol possui propriedades de retenção de umidade, formando ligações com a água, uma característica explorada até mesmo na indústria de cosméticos, em produtos hidratantes. Com isto, pode ter ocorrido a desidratação das moléculas de água que estavam dispostas superficialmente na película até os 62°C. Com o aumento da temperatura, as ligações entre o glicerol e as porções de água no interior da membrana se desestabilizaram, permitindo, assim, uma maior desidratação do compósito. Entretanto, o processo de degradação continuou, durando até os 300°C. Dentro deste intervalo houve também a degradação do glicerol, que tem seu ponto de fusão em 290°C, e da própria CB, restando ao final da análise apenas 35% de sua massa (BEATRIZ; ARAÚJO; LIMA, 2011).

A Perda de massa nas amostras CBMI, CBMP e CBMPG, a partir de 300°C, pode se referir à degradação da CB, uma vez que houve o primeiro estágio de sua deterioração aproximadamente nesta temperatura, conforme apontado no gráfico da Figura 13A e na Tabela 3. Entretanto, nos compósitos magnéticos, não houve o decaimento total de massa, o que pode indicar a melhoria da resistência térmica da CB com a adição de Magnetita, uma vez que este óxido possui um ponto de fusão acima dos 1000°C.

Outro ponto importante a ser considerado é a influência da metodologia de síntese na degradação das membranas. Este fator pode ser notado ao comparar os gráficos das Figuras 13B, C e D. No processo de produção da amostra CBMI, a CB pura foi imersa em soluções para ocorrer a síntese e impregnação da magnetita, dentro de suas fibras intactas. Desta forma, este compósito conservou 90% de sua massa até o final do teste. Contudo as películas CBMP e CBMPG, que durante a suas metodologias de produção foram trituradas, demonstraram uma maior degradação de sua massa, restando um percentual abaixo dos 50% das amostras ao final dos ensaios. Este efeito pode ter ocorrido devido à quebras nas fibras da CB durante sua trituração, que comprometeram a estabilidade do material.

Na literatura há relatos da melhoria de propriedades térmicas de membranas de celulose com a inserção de materiais cerâmicos, como a magnetita (ZHOU et al., 2008; SRIPLAI et al., 2018; ARANTES et al., 2019).

Devido à alta resistência térmica encontrada na membrana CBMI, essa película apresenta um potencial de aplicação como revestimento térmico, ou em objetos que são expostos à altas temperaturas, como em painéis, utensílios domésticos, aditivos em tecidos de roupas de segurança, e até mesmo em equipamentos ligados à indústria. Para este tipo de aplicação são necessários mais testes de resistência e condução térmica, e algum tipo de aprimoramento e adaptação para ser aplicado nestas áreas.

4.6 CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA

Quanto às propriedades elétricas, a Tabela 4 expõe os valores encontrados para resistividade, resistência elétrica, capacitância e constante dielétrica dos materiais produzidos.

Tabela 4 - Resultados de ensaios elétricos realizados nas amostras de Celulose Bacteriana pura (CB), Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da síntese por imersão (CBMI), Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da metodologia que utiliza a polpa de celulose (CBMP) e Celulose Bacteriana com Magnetita produzida através da polpa de celulose com a adição de glicerol (CBMPG)

| Amostras, com suas espessuras (mm) | CB | CBMI | CBMP | CBMPG |
|--|-----------|-------------|-------------|--------------|
| Espessura das películas (mm) | 0,01 | 0,3 | 0,05 | 0,03 |
| Resistividade (kΩm) | 69660,00 | 13,77 | 542,70 | 729,00 |
| Resistência (kΩ) | 8600 | 51 | 335 | 270 |
| Capacitância na Frequência de 1 kHz (pF) | 29,6 | 40,0 | 92,0 | 220,0 |
| Capacitância na Frequência de 120 HZ (pF) | 88,0 | 880,0 | 750,0 | 2600,0 |
| Constante Dielétrica (1kHz) | 0,412 | 16,729 | 6,414 | 9,202 |
| Constante Dielétrica (120Hz) | 1,227 | 368,111 | 54,288 | 108,760 |

Fonte: Elaborada pela autora

Segundo a Tabela 4, as películas dos compósitos não apresentaram resultados com potencial de aplicabilidade como materiais isolantes elétricos e nem como condutores. Materiais condutores, de forma geral, possuem resistividades baixas, como o cobre, por exemplo, que possui uma resistividade de $1,72 \times 10^{-11} \text{ k}\Omega\text{m}$, valor muito inferior à resistividades obtidas. Já materiais isolantes possuem resistividades altas, como o vidro, que possui resistividade entre $1,0 \times 10^7$ a $1,0 \times 10^{11} \text{ k}\Omega\text{m}$, um valor muito acima dos obtidos pelas membrana produzidas. As resistividades encontradas nas películas de CB magnéticas possuem valores que mais se assemelham a materiais semicondutores, como o silício puro, que apresenta uma resistividade de $2,5 \text{ k}\Omega\text{m}$, na mesma ordem de grandeza dos valores alcançados pelos compósitos em questão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Dentre as amostras analisadas, segundo a Tabela 4, a película magnética que obteve uma maior resistividade e capacitância, nas frequências testadas, foi a CBMPG. Provavelmente, este efeito se deu devido à presença de glicerol em sua composição. Na literatura, Arantes et al. (2019) obtiveram um comportamento semelhante, em suas membranas de celulose vegetal magnética, isto é, as membranas que tinham glicerol atingiram uma maior capacitância, nas frequências de 1kHz e 120Hz.

Segundo a equação de constante dielétrica, apresentada anteriormente, na sessão 4.6, a espessura do material, representada na equação por “d”, influencia diretamente no valores desta grandeza; com isto, o compósito de mais espesso (CBMI) atingiu os maiores valores para as constantes dielétricas em cada frequência em apreço.

Outro ponto notável, na Tabela 4, é o aumento da capacitância/constante dielétrica na frequência mais baixa testada (120Hz). Estudos futuros poderão apontar valores mais elevados destas propriedades em frequências ainda menores, como 50-60Hz, que é utilizada nas residências. Na literatura, Bhatt et al. (2010) que confeccionaram membranas poliméricas com 40% de magnetita e Arantes et al. (2019) também observaram esta tendência em suas membranas, apontando o aumento do valor das constantes dielétricas de suas películas, em frequências mais baixas. Entretanto, os valores encontrados por Bhatt et al. (2010) foram inferiores aos alcançados pelas películas CBMI, CBMP e CBMPG produzidas nesta pesquisa.

Capacitores comerciais apresentam valores elevados de capacitância. Esta propriedade em um dispositivo, do fabricante JL, série JD1-15, possui um valor de $470 \mu\text{F}$, na tensão de 120Hz, sendo 100.000 vezes maior que a encontrada no compósito CBMI, película que, de acordo com a Tabela 4, obteve o valor mais elevado de capacitância

dentre as 4 testadas, na frequência de 120Hz. Vale salientar que este dispositivo supracitado possui espessura maior que a das membrana produzidas. Em testes mais específicos, esta propriedade deverá ser aferida em películas empilhadas, ou mais espessas, simulando assim um capacitor tradicional, visando obter um melhor comparativo com os já existentes.

Com isto, os testes elétricos, cujo os resultados se fazem presentes na Tabela 4, apontaram que as membranas elaboradas não têm aplicações como condutores, ou como resistências elétricas. Para a aplicação em capacitores, se fazem necessários testes mais específicos e eventuais adaptações. Contudo, as películas podem ter aplicações eletromagnéticas, uma vez que elas possuem propriedades magnéticas, sendo utilizadas para a produção de dispositivos como transformadores, dentre outros, que fazem o uso do eletromagnetismo. Um desses equipamentos é a mesa digitalizadora, que gera um campo eletromagnético para captar os movimentos feitos em sua superfície, e os convertem em sinais elétricos para computadores.

Outros dispositivos, que contam com o eletromagnetismo e oferecem aplicações em potencial, são os de gravação e captação sonora. Estes equipamentos fazem o uso de ímãs produzidos a partir de bobinas, com núcleos magnéticos, submetidos a uma corrente elétrica, gerando ou intensificando, assim, um campo magnético. Microfones, amplificadores de som, e até mesmo captadores de guitarras e baixos elétricos fazem o uso deste tipo de mecanismo. No caso dos captadores de guitarras e baixos, as bobinas eletromagnéticas captam as ondas mecânicas emitidas pelas cordas e as convertem em sinais elétricos. A combinação de fatores magnéticos e elétricos de cada material, constituinte das bobinas, influi no timbre dos sons emitidos.

Porém para estes tipos de aplicações eletromagnéticas, deve haver uma investigação do efeito indutivo dos compósitos produzidos, e adaptações para se construir dispositivos como os citados anteriormente.

5 CONCLUSÕES

As análises realizadas constataram as seguintes características dos filmes de CB magnéticos produzidos:

- As metodologias de incorporação da magnetita na CB se mostraram eficientes.
- Os testes de DRX e FTIR confirmaram a presença dos cristais de Fe_3O_4 na CB.
- Além da Magnetita, possivelmente há também a formação de Hematita durante o processo de magnetização da CB.
- A adição da magnetita aumentou a resistência térmica da CB.
- Todas as películas resistiram à degradação até a temperatura testada.
- De acordo com os testes de histerese magnética realizados, as películas com magnetita apresentaram um comportamento de material magnético mole, sendo então indicado para aplicações que requerem a magnetização e desmagnetização rápida de componentes.
- Segundo os testes de caracterização elétrica, as películas apresentam um comportamento semelhante ao de materiais semicondutores, entretanto mais testes precisam ser realizados, para haver uma maior compreensão das possíveis aplicações destes materiais, para esta área.

As análises apontam uma possível de aplicação das membranas de CB com magnetita em revestimentos térmicos, e para a confecção de certos dispositivos magnéticos. Há também uma potencial aplicação, destes novos materiais, em componentes eletromagnéticos e eletrônicos, entretanto se fazem necessários testes posteriores para se indicar de forma mais precisa estas opções de utilização para as CBs magnéticas.

REFERÊNCIAS

- AHMED, J.; GULTEKINOGLU, M.; EDIRISINGHE, M.. Bacterial cellulose micro-nano fibres for wound healing applications. **Biotechnology Advances**, v. 41, n. 8, 2020.
- ALBUQUERQUE, R. M. B. et al. Production of a bacterial cellulose/poly (3-hydroxybutyrate) blend activated with Clove essential oil for food packaging. **Polymers and Polymer Composites**, 2020.
- AMALRAJ, A. et al. Cellulose Nanomaterials in Biomedical , Food , and Nutraceutical Applications : A Review. **Macromolecular Symposia**, v. 380, 2018.
- AMORIM, J. D. P. et al. Bacterial Cellulose Production Using Fruit Residues as Substract to Industrial Application. **Chemical Engineering Transactions**, v. 74, 2019.
- ANDO, T.; FOWLER, A. B.; STERN, F. Electronic properties of two-dimensional systems. **Reviews of Modern Physics**, v. 54, n. 2, p. 437, 1982.
- ANDREOTTI, A. Microbial Factories - Interview: Suzanne Lee, Fashion Innovator Who Grows Clothing in the Laboratory. **NexNature**. 2015. Disponível em: <https://www.nextnature.net/2015/06/interview-suzanne-lee/> . Acessado em: 15/01/2021.
- ARANTES, A.C.C. et al. Bio-based thin films of cellulose nanofibrils and magnetite for potential application in green electronics. **Carbohydrate Polymers**, v. 207. 2019.
- AZEREDO, H. M. C.; BARUD, H.; FARINAS, C. S. Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 3, 2019.
- BARUD, H. S. **Preparo e caracterização de novos compósitos de celulose bacteriana**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2006.
- BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y. J. K.; LIMA, D. P. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 306-319, 2011.
- BHATT, A. S.; KRISHNA BHAT, D.; SANTOSH, M. S. Electrical and magnetic properties of chitosan-magnetite nanocomposites. **Physica B: Condensed Matter**, v. 405, n. 8, p. 2078–2082, 2010.
- BLANEY, L. Magnetite (Fe_3O_4): Properties , Synthesis , and Applications. **The Lehigh Review**, v. 15, 2007.
- BODE, H. History of electronic sound modification. **Journal of the Audio Engineering Society**, v. 32, n. 10, p. 730-739, 1984.
- BURTON, A. W. et al. On the estimation of average crystallite size of zeolites from the Scherrer equation: A critical evaluation of its application to zeolites with one-dimensional pore systems. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 117, n. 1-2, p. 75–90, 2009.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CHEN, P. et al. Regenerated bacterial cellulose / multi-walled carbon nanotubes composite fibers prepared by wet-spinning. **Current Applied Physics**, v. 9, n. 2, p. 96–99, 2009.

CHANTHIWONG, M. et al. Controlling the processing of co-precipitated magnetic bacterial cellulose/iron oxide nanocomposites. **Materials & Design**, v. 196, p. 109148, 2020.

CINDRA, J. L.; TEIXEIRA, O. P. B. A evolução das ideias relacionadas aos fenômenos térmicos e elétricos: algumas similaridades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 379-399, 2005.

COEY, J. M. D. **Magnetism and magnetic materials**. New York : Cambridge University Press, 2010.

COSTA, T. C. de C. **Síntese de nanopartículas de magnetita via decomposição térmica em meio não aquoso**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

COSTA, A. F. S. et al. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* using corn steep liquor as nutrient sources. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 1–12, 2017.

COSTA, A. F. S.; ROCHA, M. A. V.; SARUBBO, L. A. Review - Bacterial Cellulose : An Ecofriendly Biotextile. **International Journal of Textile and Fashion Technology**, v. 7, n. 1, 2017.

COSTA, A. F. S. **Produção de um Biopolímero Bacteriano para Aplicação na Área Têxtil**. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

COSTA, A. F. S. et al. International Journal of Biological Macromolecules Dyeing of bacterial cellulose films using plant-based natural dyes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, 2019.

DELMER, D. P.; AMOR, Y. Cellulose Biosynthesis. **The Plant Cell**, v. 7, 1995.

DINIZ, V. C. S. et al. Avaliação microestrutural e magnética de Fe₃O₄ sintetizada pelo método de reação de combustão. **Cerâmica**, v. 61, p. 298-302, 2015.

DONINI, I. A. N. et al. Biossíntese e recentes avanços na produção de celulose bacteriana. **Eclética química**, v. 35, n. 4, 2010.

DUARTE, E. B. et al. Celulose bacteriana propriedades, meios fermentativos e aplicações, **Embrapa Agroindústria Tropical**. ed.1, Fortaleza, 2019.

DUNLOP, D. J.; ÖZDEMİR, Ö. Magnetism in nature. In: **Rock Magnetism, Fundamentals and Frontiers**. Cambridge ed. Cambridge, 1997.

ERENOĞLU, A. K.; ERDİNÇ, O.; TAŞCIKARAOĞLU, A. History of Electricity. In: **Pathways to a Smarter Power System**. Academic Press, 2019. p. 1-27.

ESA, F.; TASIRIN, S. M.; RAHMAN, N. A. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. **Italian Oral Surgery**, v. 2, 2014.

EVANS, B. R. et al. **Metallization of bacterial cellulose for electrical and electronic device manufacture**. US n. US7803477B2, Depósito: 14 dez. 2001. Concessão: 28 out. 2010.

FERNANDES, I. A. A. et al. Bacterial cellulose: From production optimization to new applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2020.

FLEET, M. E. The Structure of Magnetite. **Acta Cryst**, v. 37, n. 1, 1981.

FRANCISQUINI, E.; SCHOENMAKER, J.; SOUZA, J. A. Nanopartículas magnéticas e suas aplicações. **Química Supramolecular e Nanotecnologia**, 2014.

GALDINO, C. J. S. et al. Evaluation of the potential of bacterial cellulose in the treatment of oily waters. **Chemical Engineering Transactions**, v. 74, p. 313–318, 2019.

GEA, S. et al. Bacterial cellulose–poly (vinyl alcohol) nanocomposites prepared by an in-situ process. **Materials Letters**, v. 64, n. 8, p. 901-904, 2010.

GLIK, S. Entre tanques y pañuelos: domesticidad y trabajo femenino en la propaganda de guerra estadounidense (1941-1943). **Revista de História**, v. 26, n. 1, 2020.

GU, H. et al. Magnetic nanocellulose-magnetite aerogel for easy oil adsorption. **Journal of colloid and interface science**, v. 560, p. 849-856, 2020.

HAGHIGHI, H. et al. Characterization of bio-nanocomposite films based on gelatin/polyvinyl alcohol blend reinforced with bacterial cellulose nanowhiskers for food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 8. ed. v. 4. Rio de Janeiro, LTC, 2009

HAO, X. A review on the dielectric materials for high energy-storage application. **Journal of Advanced Dielectrics**, v. 3, n. 01, 2013.

HASSAN, E. et al. Use of Bacterial Cellulose and Crosslinked Cellulose Nanofibers Membranes for Removal of Oil from Oil-in-Water Emulsions. **Polymers**, v. 9, 2017.

HESTRIN, S.; SCHRAMM, M. Synthesis of cellulose by *Acetobacterxylinum*: II. Preparation of freeze - dried cells capable of polymerizing glucose to cellulose. **Biochem.J.**, v. 58, p. 345–352, 1954.

HIROTA, I. et al. Historical Review of Electric Household Appliances using Induction-Heating and Future Challenging Trends. **IJTFM**, v. 124, n. 8, p. 713-719, 2004.

HONG, F. et al. Positive and negative exchange bias effects in the simple perovskite manganite NdMnO₃. **Applied Physics Letters**, v.101, n. 102411, p. 2-5, 2012.

HUNGUND, B. S.; GUPTA, S. G. Improved production of bacterial cellulose from *Gluconacetobacter persimmonis* GH-2. **J. Microb. Biochem. Technol.** v. 2, p. 127–133, 2010.

HUMMEL, R. E. **Electronic properties of materials**. Springer Science & Business Media, 2011.

HUSSAIN, Z. et al. Production of bacterial cellulose from industrial wastes: a review. **Cellulose**, v. 26, n. 5, p. 2895-2911, 2019.

IBA, Cenário IBÁ, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/e-mail-marketing/cenarios/63-cenarios.pdf>. Acessado em: 13/01/2021

IGUCHI, M.; YAMANAKA, S.; BUDHIONO, A. Bacterial cellulose - a masterpiece of nature's arts. **Journal of Materials Science**, v. 35, 2000.

ISHII, M.; NAKAHIRA, M.; YAMANAKA, T. Infrared absorption spectra and cation distribution in (Mn, Fe)₃O₄. **Solid State Commun**, v. 11, p. 209 – 212, 1972.

JL CAPACITORES. Catálogo de capacitores eletrolíticos série: JD1 uso geral em computação e eletrônica. Disponível em: https://jlcapacitores.com.br/wp-content/uploads/2019/03/CAPACITORES_ELETROLITICOS.pdf. Acessado em 12 de novembro de 2020.

KAMIDE, K.; SAITO, M. Cellulose and Cellulose Derivatives : Recent Advances in Physical Chemistry. **Advances in Polymer Science**, v. 83, 1987.

LIU, Z. et al. Characterizations of bacterial cellulose nanofibers reinforced edible films based on konjac glucomannan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 145, p. 634-645, 2020.

LYND, L. R. et al. Microbial Cellulose Utilization : Fundamentals and Biotechnology. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 66, n. 3, 2002.

MASCOLO, M.C.; PEI, Y.; RING, T. A. Room temperature coprecipitation synthesis of magnetite nanoparticles in a large pH window with different bases. **Materials**, v. 6, p. 5549-5567, 2013.

MATSUKURA, F.; TOKURA, Y.; OHNO, H. Control of magnetism by electric fields. **Nature Publishing Group**, v. 10, n. 3, 2015.

MOON, R. J. et al. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. **Chemical Society Reviews**, v. 40, n. 7, 2011.

NAKAMURA, M.; ONO, H. **Separator for electric storage device**. JP n. JP 200649797A, Depósito: 16 fev. 2006.

NG, F. M. C.; WANG, P. W. Natural self-grown fashion from bacterial cellulose: a paradigm shift design approach in fashion creation. **The Design Journal**, v. 19, n. 6, p. 837-855, 2016.

OKA, M. M. História da eletricidade. **História da Eletricidade**, 2000. Disponível em: < <http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>> . Acesso em: 20/01/2021.

OKIYAMA, A.; MOTOKI, M.; I, S. Y. Bacterial cellulose IV. Application to processed foods. **Food Hydrocolloids**, v. 6, n. 6, 1993.

OLIVEIRA, G. M. et al. Curativo de celulose bacteriana para o tratamento de lesões por pressão em pacientes hospitalizados. **Revista Enfermagem Atual**, v. 87, 2019.

OLSSON, R. T. et al. Making flexible magnetic aerogels and stiff magnetic nanopaper using cellulose nanofibrils as templates. **Nature Nanotechnology**, v. 5, n. August, 2010.

PANG, S. C.; KHOH, W. H.; CHIN, S. F. Synthesis and Characterization of Magnetite/Carbon Nanocomposite Thin Films for Electrochemical Applications. **Journal of Materials Science & Technology**, v. 27, n.10, p. 873–878, 2011.

PHAN, M. H. et al. Exchange Bias Effects in Iron Oxide-Based Nanoparticle Systems, **Nanomaterials**, v.6, n.225, 2016.

PORTELA, R.; LEAL, C. R.; PEDRO, L. Minireview Bacterial cellulose : a versatile biopolymer for wound dressing applications. **Microbial Biotechnology**, v. 12, 2019.

POURJAVAHER, S. et al. Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleraceae*) extract. **Carbohydrate Polymers**, v. 156, 2017.

RAHHAL, N. D. F. et al. Uma Revisão sobre o Eletromagnetismo e a sua Interdisciplinaridade Científica. **Revista de Trabalhos Acadêmicos Lusófona**, v. 2, n. 1, 2019.

RODRIGUES, A. P. G. et al. (2020). Positive exchange bias effect in $\text{LaCr}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_3$ perovskite. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, 2020.

SÁBIO, R. M. et al. Growth of magnetic cobalt hexacyanoferrate nanoparticles onto bacterial cellulose nanofibers. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 30, n. 18, p. 16956-16965, 2019.

SHACKELFORD, J. F. **Introdução à ciência dos materiais**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SHARMA, A. et al. Commercial application of cellulose nano-composites - A review. **Biotechnology Reports**, v. 21, 2019.

SHELLEY, Mary. **Frankenstein ou o Prometeu moderno**. DarkSide, Rio de Janeiro, 2017.

- SHI, Z. et al. Food Hydrocolloids Utilization of bacterial cellulose in food. **Food hydrocolloids**, v. 35, 2014.
- SHIBAZAKI, H. et al. Bacterial Cellulose Membrane as Separation Medium. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 50, 1993.
- SIRÓ, I.; PLACKETT, D. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials : a review. **Cellulose**, v. 17, 2010.
- SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T.A. **Princípios de Análise Instrumental**. 5 ed. Porto Alegre, Bookman, 2002.
- SOURTY, E.; RYAN, D. H.; MARCHESSAULT, R. D. Characterization of magnetic membranes based on bacterial and man-made cellulose. **Cellulose**, 1998.
- SRIPLAI, N. et al. Magnetically responsive and flexible bacterial cellulose membranes Nipaporn. **Carbohydrate Polymers**, v. 192, 2018.
- STOIA, M.; ISTRATIE, R.; PACURARIU C. Investigation of magnetite nanoparticles stability in air by thermal analysis and FTIR spectroscopy. **J Therm Anal Calorim**, v. 125, p.185 – 1198, 2016.
- TONIDANDEL, D. A. V.; ARAÚJO, A. A.; BOAVENTURA, W. C. História da eletricidade e do magnetismo: da Antiguidade à Idade Média. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, v. 40, n. 4, 2018.
- TORRES, F. G. et al. Enhanced conductivity of bacterial cellulose films reinforced with NH₄ I-doped graphene oxide. **Polymer-Plastics Technology and Materials**, v. 58, n. 14, p. 1–11, 2019.
- ULLAH, H.; SANTOS, H. A.; HHAN, T. Applications of bacterial cellulose in food , cosmetics and drug delivery. **Cellulose**, v. 23, 2016.
- UNSOY, G. et al. Magnetite: From Synthesis to Applications. **Current Topics in Medicinal Chemistry**, v. 15, 2015.
- USAWATTANAKUL N. et al. Development of Nanocomposite Film Comprising of Polyvinyl Alcohol (PVA) Incorporated with Bacterial Cellulose Nanocrystals and Magnetite Nanoparticles. **Polymers**. v. 13, n. 11. 2021
- VICENTE, S. A.; PINTO, J. A. F.; SILVA, A. P. B. História da Ciência, Experimentação e Vídeos: Introdução ao Conteúdo de Circuitos Elétricos. **Revista ENCITEC**, v. 10, n. 2, p. 151-165, 2020.
- VOLTA, A. XVII On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. In a letter from Mr. Alexander Volta, FRS Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to the Rt. Hon. Sir Joseph Banks, Bart. **KBPR S. Philosophical transactions of the Royal Society of London**, n. 90, p. 403-431, 1800.

WANG, J.; TAVAKOLI, J.; TANG, Y. Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods – A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 219, 2019.

WEYELL P. et al. Made material characteristics of bacterial cellulose for drug delivery applications in dentistry. **Carbohydrate Polymers**, v. 207, 2019.

YANG, J.; LI, J. Self-assembled cellulose materials for biomedicine : A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 181, 2017.

YANO, S. et al. **Lithium ion conductive material using bacterial cellulose organogel**. JP n. JP5466251B2 , Depósito: 31 jan. 2014. Concessão: 9 abr. 2014.

YOON, S. H. et al. Electrically Conductive Bacterial Cellulose by Incorporation of Carbon Nanotubes. **Biomacromolecules**, v. 7, p. 1280–1284, 2006.

YORDSHAHI, A. S. et al. Design and preparation of antimicrobial meat wrapping nanopaper with bacterial cellulose and postbiotics of lactic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, v. 321, 2020.

ZENG, Muling et al. Origami magnetic cellulose: controlled magnetic fraction and patterning of flexible bacterial cellulose. **Journal of Materials Chemistry C**, v. 2, n. 31, p. 6312-6318, 2014.

ZHOU, Jinping et al. Structure and magnetic properties of regenerated cellulose/Fe₃O₄ nanocomposite films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 111, n. 5, p. 2477-2484, 2009.

ZHU, H. et al. Biosynthesis of spherical Fe₃O₄ / bacterial cellulose nanocomposites as adsorbents for heavy metal ions. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 4, 2011.